

УДК 004.942:[616.9-022-021.484]

КОМП'ЮТЕРНО-МАТЕМАТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ КЛІНІКО-ЛАБОРАТОРНОГО СИМПТОМОКОМПЛЕКСУ ПРИ ТУБЕРКУЛЬОЗНОМУ ЗАПАЛЕННІ

©Г. І. Ільницький^{1,2}¹ Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького² Національний університет «Львівська Політехніка»

Грунтуючись на інформаційно-математичних технологіях, проведена цифрова оцінка клініко-рентгенологічних і лабораторних проявів туберкульозного запалення. Запропонований алгоритм діагностики туберкульозу апробований у 76 хворих на первинний (вперше діагностований) та у 81 – на вторинний (рецидивний) туберкульоз з використанням інформаційного банку клініко-лабораторних даних, що дозволило підвищити якість верифікації захворювання до 90,7 % та 85,2 % відповідно.

Ключові слова: математичне моделювання, туберкульоз, диференційна діагностика.

Вступ. Раннє виявлення та діагностика туберкульозу залежать безпосередньо від соціальних та епідеміологічних чинників, які склалися у населення і характеризується невідомим зростанням захворюваності, хворобливості та летальності [1, 3, 7].

В умовах високого рівня інфікування і контагіозності, зумовленого резервуаром туберкульозної інфекції, незадовільним матеріально-технічним оснащенням профільних медичних установ та недостатньою ефективністю проведених лікувально-профілактичних заходів, актуальним питанням є опрацювання діагностичного процесу при туберкульозі з використанням інформаційно-математичних технологій на дошпитальному (загальна медична мережа) та шпитальному (профільний стаціонар) етапах медичної допомоги населенню [2, 5, 8, 9].

Мета роботи. Попередні дослідження стосувалися створення математичних моделей при вивченні окремих епідеміологічних параметрів з урахуванням характеру збудника захворювання. Це дало можливість обґрунтувати модель оцінки і прогнозування розповсюдженості захворювання на туберкульоз при наявності чутливого (звичайного) та мультирезистентного (стійкого) збудника туберкульозу, а також визначити ймовірність їх взаємного переходу із категорії в категорію [10].

Метою дослідження було підвищення ефективності верифікації первинного (вперше діагностованого туберкульозу – ВДТБ) та вторинного (рецидиву туберкульозу – РТБ) туберкульозу шляхом математичного моделювання найінформативніших клінічних симптомів і лабораторних параметрів захворювання в залежності від характеру і механізмів розвитку патологічного процесу.

Характеристика матеріалу та методів досліджень. В основу досліджень покладені результати клінічних та лабораторних даних при туберкульозі у

157 хворих, інтерпретовані на принципах інформаційно-математичного моделювання проявів та ознак захворювання.

Одержані дані опрацьовані з використанням бальної системи діагностики і диференційної діагностики ВДТБ та РТБ при відсутності інформації про час виникнення первинного інфікування. Для цього був застосований спрощений варіант формули Т. Байеса [4].

Для визначення диференційно-діагностичної цінності ознак захворювання підраховували частоту їх наявності (в %) при ВДТБ та РТБ. Якщо прояв (симптом, синдром, лабораторний критерій та ін.) ділили на градації (наприклад, кашель-сухий, вологий), то для кожного з них визначали у відсотках частоту наявної ознаки окремо. Всі розрахунки проводили, беручи до уваги абсолютні числа всіх клініко-лабораторних параметрів захворювання у пацієнтів з первинним та вторинним (повторним), рецидивним туберкульозом.

Наступним етапом було визначення десятинних логарифмів отриманих цифрових характеристик, які приймалися за діагностичні коефіцієнти. Потім вичисляли різницю між «найбільшим» і «найменшим» значеннями і отриману величину вносили в графу коефіцієнта з «найбільшою» величиною, а в графу з мінімальним коефіцієнтом реєстрували «нуль». Отримані характеристики, попередньо помножені на 10, давали кінцеву кількість балів кожного симптому або параметру зокрема. Сумуючи кількість балів з врахуванням груп спостережуваних хворих на ВДТБ та РТБ, отримували вірогідну різницю в домінуванні відповідних діагностичних критеріїв.

При наявності різниці суми 13 балів і вище, вірогідність правильного діагнозу була більшою 95,0 %, а вірогідність помилкового діагнозу – меншою 5,0 %. Якщо різниця складала 10 балів, то вірогідність правильного діагнозу знижувалася до 91,0 %, а помилкового – збільшувалася до 9,0 % відповідно. Опрацювання отриманих результатів досліджень проводили за допомогою ліцензійних програм, які входили в пакет Microsoft Office Professional 2000 (ліцензія Russian Academic OPEN No Level № 17016297) на персональному комп'ютері IBM програмою Excel за рекомендаціями Лапач С. Н. та ін. [6].

Основні результати досліджень. Інформаційно-математичний алгоритм верифікації було застосовано у 76 (48,4 %) пацієнтів з ВДТБ, у яких клініко-рентгенологічно виявляли ознаки, подібні до повторного (рецидивного) захворювання та у 81 (51,6 %) хворого на РТБ із загальної кількості обстежених (157 хворих).

Опрацьована інформація дала можливість встановити вірогідність окремих ознак при туберкульозі залежно від характеру розвитку специфічного процесу. В результаті запропонованого алгоритму визначена оптимальна інформативність 26 найбільш важливих ознак захворювання як для поліклінічної мережі, так і профільного стаціонару. При цьому, із згаданих 26 параметрів специфічного запалення, 15 ознак складали клінічні прояви захворювання (табл. 1), 5 – рентгенологічні ознаки (табл. 2), 2 – результати мікробіологічних (табл. 3) та 4 – імуно-біохімічних (табл. 4) критеріїв.

Таблиця 1

Математичний алгоритм клінічних проявів

№ п/п	Прояви	Туберкульоз, бали	
		ВДТБ	РТБ
1.	Контакт з хворим	2,6	5,0*
2.	Тривалість захворювання:		
	- до 1 міс	0,6	0
	- 2-6 міс	0	1,9
	- більше 6 міс	0	3,1
3.	Перебіг захворювання:		
	- гострий	1,8	0
	- торпідний	0	1,2
4.	Загальна слабкість:		
	- помірна	0	1,6
	- інтенсивна	6,8*	0
5.	Підвищення температури тіла:		
	- субфебрильна	3,2*	0
	- фебрильна	2,9*	0
6.	Біль в грудній клітці	0,3	0
7.	Кашель:		
	- сухий	0	0,1
	- вологий	0,1	0
8.	Кровохаркання	0	0,3
9.	Задишка при навантаженні	1,9*	0
10.	Лімфоаденопатія	3,2*	0
11.	Параспецифічні реакції	7,7*	0
12.	Побічні реакції	5,2*	0
13.	Фізикальні дані:		
	- укорочення перкуторного звуку	2,3	2,1
	- ослаблене дихання	2,3	2,1
	- сухі хрипи	1,5*	0
	- вологі хрипи	1,5*	0
14.	Ускладнення специфічні	12,2*	0,9
15.	Ускладнення неспецифічні	3,7	11,3*
	Всього балів	59,2*	26,0

Примітка.* - різниця між групами спостережень вірогідна ($p < 0,05 - 0,01$).

При оцінці діагностичної інформативності клінічних проявів необхідно вказати, що для ВДТБ притаманні: короткотривалий дошпитальний період (0,6) з гострим перебігом (1,8), інтенсивною загальною слабкістю (6,8), субфебрильною (3,2) та фебрильною (2,9) температурою тіла. Особливої уваги заслуговували задишка при фізичному навантаженні (1,9), периферійна лімфоаденопатія (3,2), наявність параспецифічних (7,7) та токсико-алергічних (5,2) реакцій ($p < 0,05$). При фізикальних даних враховували наявність сухих (1,5) та вологих (1,5) хрипів. Серед ускладнень, як правило, переважали специфічні (12,2) - у вигляді ексудативного плевриту (полісерозиту) або туберкульозу бронха. Перечислені критерії зустрічалися вірогідно частіше при туберкульозі

первинного походження і враховувалися як при діагностиці туберкульозного запалення взагалі, так і при верифікації патогенезу специфічного процесу зокрема ($p < 0,05$).

Оцінюючи клінічні прояви при вторинному (рецидивному) туберкульозі, встановлена недостатня інформативність існуючих параметрів за виключенням тривалого дошпитального етапу захворювання (3,1), торпідного перебігу (1,2), помірної інтоксикації (1,6), кровохаркання (0,3) та ускладнень неспецифічного (1,3) характеру у вигляді дифузного катарально-гнійного ендобронхіту як продрому розвитку хронічного обструктивного захворювання легень на перспективу

Таким чином, підсумовуючи отриману бальну оцінку, доцільно вказати, що за результатами клінічних проявів захворювання залежно від характеру перебігу специфічного процесу вірогідно переважав ВДТБ (59,2) стосовно РТБ (26,0) відповідно ($p < 0,01$).

Підрахунок бальної оцінки рентгенологічних ознак специфічного запалення (табл. 2) при ВДТБ та РТБ сумарно не відрізнявся (13,2 та 11,7 відповідно) і вірогідно не залежав від характеру перебігу захворювання. В той же час, ряд ознак при ВДТБ заслуговували на увагу, параметри яких були високоінформативними. В першу чергу це стосувалося прикореневої (2,3) та середньо-нижньочасткової (4,0) локалізації процесу в поєднанні з поширеним коренем (3,2), а при РТБ мали місце вірогідно частіше ураження верхніх часток (0,9) легень на тлі посиленого легеневого малюнку (3,2).

Таблиця 2

Математичний алгоритм рентгенологічних ознак

№ п/п	Прояви	Туберкульоз, бали	
		ВДТБ	РТБ
1.	Локалізація процесу:		
	- верхньочасткова	0	0,9*
	- прикоренева	2,3*	0
	- середньо-нижньочасткова	4,0*	0
2.	Кількість порожнин		
	- поодинокі	2,5	2,9
	- множинні	0	1,8*
3.	Розмір порожнин		
	- до 2 см	1,2	0
	- 2-4 см	1,0	0
	- більше 4 см	0	2,9*
4.	Посилений легеневий малюнок	0	3,2*
5.	Поширений корінь	3,2*	0
	Всього	13,2	11,7

Примітка. * - різниця між групами спостережень вірогідна ($p < 0,05 - 0,01$).

Результати мікробіологічних досліджень вказували, ймовірно, на якісний характер показників, що важливо при верифікації туберкульозу взагалі як окремої нозологічної форми (табл. 3).

Таблиця 3

Математичний алгоритм мікробіологічних критеріїв

№ п/п	Прояви	Туберкульоз, бали	
		ВДТБ	РТБ
1.	Наявність МБТ (мікроскопічно):		
	- помірне (1 +)	1,2	1,1
	- масивне (2 +, 3 +)	0,7	1,1
2.	Наявність МБТ (посівом):		
	- помірне (1 +)	5,2*	3,1
	- масивне (2 +, 3 +)	2,1	6,3*
	Всього	9,2	11,6

Примітка.* - різниця між групами спостережень вірогідна ($p < 0,05 - 0,01$).

При цьому, окремі параметри мікробіологічного спектру, з врахуванням методу визначення мікобактерій туберкульозу (МБТ) та їх кількісної характеристики (помірне, масивне), вірогідно не залежали від генезу специфічного запалення, що підтверджено сумою балів (9,2 та 11,6 відповідно).

Дослідження периферійної формули крові патогномонічних відмінностей окремих показників не виявили і вони не змінювалися з врахуванням перебігу туберкульозного процесу.

Таблиця 4

Математичний алгоритм імуно-біохімічних критеріїв

№ п/п	Прояви	Туберкульоз, бали	
		ВДТБ	РТБ
1.	Формула крові:		
	- підвищена ШОЕ	2,4*	1,2
	- лімфоцитоз	1,6	1,1
	- лімфопенія	1,7	1,4
2.	Імунітет:		
	- зменшення Е-РУК	1,4	1,1
	- зменшення E _a -РУК	1,5	1,2
	- пригнічення РБТЛ з ФГА	1,8	1,7
3.	Туберкулінова алергія:		
	- гіперергічна проба Манту	5,7*	0
	- збільшення І-РУК	2,6*	0,3
	- збільшення РБТЛ з ППД	4,6*	2,0
4.	Біохімічні параметри:		
	- підвищення Тф	4,1	2,3
	- збільшення Нр	5,1	4,9
	- зростання Цп	5,0	4,7
	Всього	37,5*	21,9

Примітка.* - різниця між групами спостережень вірогідна ($p < 0,05 - 0,01$).

Аналогічні результати, які не залежали від характеру розвитку специфічного (туберкульозного) запалення, стосувалися параметрів клітинного імунітету та біохімічного гомеостазу організму пацієнтів і вірогідно між собою не відрізнялися (табл. 4). Для оцінки імунологічної реактивності організму на увагу заслуговува-

ли показники загального (Е-РУК) та активного (Еа-РУК) розеткоутворення, а також реакція баластної трансформації лімфоцитів (РБТЛ) з фітогемаглютиніном (ФГА), які були знижені. Біохімічні параметри стосувалися підвищення рівнів трансферину (Тф), гаптоглобіну (Нр) та церулоплазміну (Цп) сироватки крові.

На увагу заслуговували показники інтенсивності туберкульозної алергії, які вірогідно були вищими при туберкульозі первинного походження. Зокрема, це стосувалося різкопозитивної проби Манту (5,7), суттєвого підвищення (імуноного розеткоутворення – І-РУК (2,6) та РБТЛ з туберкуліном (ППД) (4,6). При цьому сума бальної оцінки була вірогідно вищою при ВДТБ (37,5) стосовно РТБ (21,9) відповідно ($p < 0,01$).

Таблиця 5

Підсумковий математичний алгоритм симптомокомплексу

№ п/п	Прояви, ознаки, критерії	Туберкульоз, бали	
		ВДТБ	РТБ
1.	Клінічні прояви	59,2*	26,0
2.	Рентгенологічні ознаки	13,2	11,7
3.	Мікробіологічні критерії	9,2	11,6
4.	Імуно-біохімічні критерії	37,5*	21,9
	Всього	119,1*	71,2

Примітка.* - різниця між групами спостережень вірогідна ($p < 0,05 - 0,01$).

Узагальнюючи цифрові величини (табл. 5) при туберкульозі залежно від характеру оцінки критеріїв прояву захворювання, слід вказати на високу інформативність клінічних ознак (59,2 і 26,0 відповідно) та імуно-біохімічних критеріїв (37,5 і 21,9 відповідно) при ВДТБ стосовно РТБ, що підтверджено також підсумковим алгоритмом математичного моделювання (119,1 і 71,2) відповідно ($p < 0,01$).

Отже, використані 26 основних ознак захворювання дозволили отримати достатньо вагому діагностичну інформацію і, в переважній більшості випадків, надійно прогнозувати категорію перебігу туберкульозного процесу.

Одержані дослідження (табл. 5) показали, що для ВДТБ максимальний бал становив 119,1, а для РТБ – 71,2 ($p < 0,01$). Про первинність процесу свідчили коливання балів від 71,2 до 119,1, а про вторинність – нижче 71,2. При правильній оцінці клінічних проявів і рентгенологічних ознак захворювання (табл. 1, табл. 2) можна одержати 75,0 % необхідної інформації у математичному моделюванні туберкульозу, а лабораторні (мікробіологічні та імуно-біохімічні) критерії (табл. 3, табл. 4) доповнювали цю інформацію ще на 25,0 %. Отже, сума балів при ВДТБ становила 89,3 і 29,8, а при РТБ – 53,4 і 17,8 відповідно ($p < 0,01$). Ці результати свідчили про вірогідність математичного моделювання симптомокомплексу ВДТБ відносно РТБ, при якому різниця суми балів клінічних (72,4) та рентгенологічних (37,7) даних становила 34,7, а мікробіологічних (46,7) та імуно-біохімічних (33,5) критеріїв – 11,2 відповідно, ($p < 0,01$).

Таким чином, при оцінці отриманих результатів виявилось, що у хворих на ВДТБ правильний діагноз був встановлений у 90,7 % (69 хворих із 76), а на РТБ – у 85,2 % (69 хворих із 81). Отже, частота діагностичних помилок при

патологічному процесі становила 9,3 % (7 випадків із 76) та 14,8 % (12 випадків із 81) відповідно. Ці дані засвідчили, що запропонований алгоритм у більшості хворих дав можливість встановити характер розвитку захворювання тоді, коли клініко-рентгенологічні прояви ВДТБ і РТБ були ідентичними.

Висновки. Інноваційні технології моделювання туберкульозу дозволяли вибрати найінформативніші ознаки для диференційної діагностики особливостей перебігу захворювання за математичним алгоритмом і підвищити ефективність верифікації захворювання до 90,7 % при ВДТБ та до 85,2 % - при РТБ. За сумою балів можна з високою вірогідністю судити про перебіг і розвиток вперше діагностованого та рецидивного туберкульозу коли мали місце труднощі у встановленні часу первинного інфікування або клініко-рентгенологічні прояви ВДТБ та РТБ були ідентичними.

Запропонована технологія діагностики вказаного захворювання достатньо інформативна і може бути використана як на етапі поліклінічної допомоги, так і в умовах профільного (протитуберкульозного) медичного закладу.

Список використаних джерел

1. Антонов И. П. Справочник по диагностике и прогнозированию нервных болезней в таблицах и перечнях. [Текст] / И. П. Антонов, Я. А. Лупьян // Минск: Беларусь. – 1986. Білозір Л. І. Туберкульоз легень у дітей підліткового віку (епідеміологія, виявлення, клініка, діагностика, лікування, профілактика). [Текст] / Л. І. Білозір // Дис...д-ра мед.наук. – Київ, 2012. – 40 с. 2.
2. Костроміна В. П. Інфільтративний туберкульоз у дітей в сучасних умовах. [Текст] / В. П. Костроміна, О. І Білогорцева, О. В. Деркач // Укр.пульмон. журнал. – 2005. – № 2. – С. 24 – 27.
3. Фещенко Ю. І. Туберкульоз у дітей та підлітків в Україні. Динаміка основних показників за 10 років. [Текст] / Ю. І. Фещенко, О. І. Білогорцева // Укр.пульмон. журнал. – 2006. – № 2. – С. 27 – 29. – 288 с. 5.
4. Ильницкая Л. И. Выявление туберкулеза органов дыхания среди подросткового населения на этапе первичного лечебного звена. [Текст] / Л. И. Ильницкая // Пробл. туберкулеза и болезней легких. – 2008. – № 11. – С. 28 – 30. 6.
5. Лапач, С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel [Текст] / С. Н. Лапач // Киев: Морион, 2000. – 319 с.
6. Митинская Л. А. Новые технологии при профилактике, выявлении, диагностике и лечении туберкулеза у детей. [Текст] / Л. А. Митинская // Пробл. туберкулеза. – 2003. – № 1. – С. 19 – 25.
7. Овсянкина, Е. С. Основные факторы риска развития туберкулеза у детей и подростков. [Текст] / Е. С. Овсянкина М. Ф. Губкина // Пробл. туберкулеза. – 2005. – № 7. – С. 10 – 13. 9. Сиренко И. А. Значимость групп риска в детской фтизиатрии. – Пробл. туберкулеза и болезней легких. [Текст] / И. А. Сиренко // 2006. – № 9. – С. 31 – 33.
8. J. Ilnytskyi, Y. Holovatch, Y. Kozitsky, H. Ilnytskyi, Computer simulations of a stochastic model for the non-immune disease spread, Вісник НУ «Львівська Політехніка» No. 800, с. 176-185 (2014).

References

1. antonov Y. P. (1986). Spravochnyk po dyahnostyke y prohnozyrovanyyu nervnikh bolezney v tablytsakh y perechnyakh. [Tekst] / Y. P. Antonov, Ya. A. Lup'yan // Mynsk: Belarus'. (in Russian)

2. Bilozir L. I. (2012). Tuberkul'oz lehen' u ditey pidlitkovoho viku (epidemiolohiya, vyyavlennya, klinika, diahnostyka, likuvannya, profilaktyka). [Tekst] / L. I. Bilozir // Dys...d-ra med.nauk. – Kyyiv, 40 s. (in Ukrainian)
3. Kostromina V. P. (2005). Infil'tratyvnyy tuberkul'oz u ditey v suchasnykh umovakh. [Tekst] / V. P. Kostromina, O. I. Bilohortseva, O. V. Derkach // Ukr.pul'mon.zhurnal. — # 2. – S. 24 – 27. (in Ukrainian)
4. Feshchenko Yu. I. (2006). Tuberkul'oz u ditey ta pidlitkiv v Ukrayini. Dynamika osnovnykh pokaznykiv za 10 rokiv. [Tekst] / Yu. I. Feshchenko, O. I. Bilohortseva // Ukr.pul'mon. zhurnal. # 2. – S. 27 – 29. – 288 s. (in Ukrainian)
5. Il'nickaja L. I. (2008). Vyjavlenie tuberkuleza organov dyhanija sredi podrostkovogo naselenija na jetape pervichnogo lechebnogo zvena. [Tekst] / L. I. Il'nickaja // Probl. tuberkuleza i boleznej legkih. –№ 11. – S. 28 – 30. (in Russian)
6. Lapach, S. N. (2000). Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovanijah s ispol'zovaniem Ehse1 [Tekst] / S. N. Lapach // Kiev: Morion, 319 s. (in Russian)
7. Mitinskaja L. A. (2003). Novye tehnologii pri profilaktike, vyjavenii, diagnostike i lechenii tuberkuleza u detej. [Tekst] / L. A. Mitinskaja // Probl. tuberkuleza. № 1. – S. 19 – 25. (in Russian)
8. Ovsjankina, E. S. (2005). Osnovnye faktory riska razvitija tuberkuleza u detej i podrostkov. [Tekst] / E. S. Ovsjankina M. F. Gubkina // Probl. tuberkuleza. № 7. – S. 10 – 13. (in Russian)
9. Sirenko I. A. (2006). Znachimost' grupp riska v detskoj ftiziatrii. – Probl. tuberkuleza i boleznej legkih. [Tekst] / I. A. Sirenko //№ 9. – S. 31 – 33. (in Russian)
10. J. Ilnytskyi, Y. Holovatch, Y. Kozitsky, H. Ilnytskyi, (2014). Computer simulations of a stochastic model for the non-immune disease spread, Visnyk NU «LP» No. 800, c. 176-185 (in English)

COMPUTER AND MATHEMATICAL MONITORING OF CLINICAL AND LABORATORY SYNDROME IN TUBERCULOSIS INFLAMMATION

G.I. Ilnytskyi

*Lviv National Medical University named after Danylo Halytskyi
69, Pekarska St., Lviv*

Based on the application of information - mathematical technologies, we have conducted a numerical score of clinical - radiological and laboratory manifestations of tuberculosis inflammation. We have suggested a diagnostic algorithm of pulmonary tuberculosis in 76 patients with primary and 81 - the secondary specific process, based on the information bank of clinical and laboratory data that allowed improving the verification of the disease to 90.7% and to 85.2% respectively.

Keywords: *mathematical design, tuberculosis, differential diagnostics*

*Стаття надійшла до редакції 15.03.2016.
Received 15.03.2016.*

УДК 550.838.08

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ КВАНТОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА
«СТРУМ-ЧАСТОТА» З ІМПУЛЬСНИМ ЗБУДЖЕННЯМ**

П.В.Мокренко¹, І.Т.Стрепко²

Українська академія друкарства²

вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, Україна

Національний університет Львівська політехніка,¹

вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

В роботі розглянуті питання моделювання квантового перетворювача «струм – частота» з імпульсним збудженням і наведені результати досліджень

***Ключові слова:** квантовий перетворювач, електронний парамагнітний резонанс, умови збудження, перетворення «струм – частота», алгоритм, моделювання, стійкість*

Постановка проблеми. В [1-3] наведена математична модель Блоха, яка описує динаміку магнітних моментів атомів, на які діють зовнішні магнітні поля. При імпульсному (ударному) збудженні магнітних моментів атомів разом з постійним зовнішнім магнітним полем діє також імпульсне поле збудження. Без обмеження загальності прийнемо, що вектор постійного магнітного поля $H_{\text{пост.}}$ розміщений у площині XOZ під кутом $\alpha=45^\circ$ ортогональної системи координат. Імпульсне поле збудження $H_1(t)$ можна спрямувати як по осі x , так і по осі y . Таким чином компоненти постійного зовнішнього магнітного поля H_{ox} і H_{oz} рівні між собою, тобто $H_{\text{ox}}=H_{\text{oz}}=H_0$. Якщо поле збудження $H_1(t)$ напрямлене по осі x , то воно накладається на поле H_{ox} . Компоненти зовнішнього магнітного поля з врахуванням поля збудження дорівнюють відповідно

$$\left. \begin{aligned} H_x &= H_{\text{ox}} + H_1(t) = H_0 + H_1(t) \\ H_y &= 0; \quad H_z = H_{\text{oz}} = H_0 \\ H_{\text{пост.}} &= \sqrt{2} * H_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

і рівняння, що описують динаміку магнітних моментів атомів, у випадку орієнтації поля збудження по осі x , мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} \dot{M}_x &= -\frac{M_x}{S_2} + \gamma H_0 M_y + \frac{M_{x0}}{S_2}, \\ \dot{M}_y &= -\frac{M_y}{S_2} - \gamma H_0 M_x + \gamma [H_0 + H_1(t)] M_z, \\ \dot{M}_z &= -\frac{M_z}{S_1} - \gamma [H_0 + H_1(t)] M_y + \frac{M_{z0}}{S_1}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Якщо ж поле збудження напрямлене по осі y , то $H_y=H_1(t)$; $H_x=H_z=H_0$, і система рівнянь набирає вигляду