



*І.В. Кочін*

**МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ СПОСОБУ ЖИТТЯ НА РІВЕНЬ ЗАХВОРЮВАНІСТІ З ТИМЧАСОВОЮ ВТРАТОЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ**

*ДЗ «Запорізька медична академія післядипломної освіти МОЗ України»*

**Ключові слова:** *спосіб життя, захворюваність, поліноміальна модель.*

**Ключевые слова:** *заболеваемость, образ жизни, полиномиальная модель.*

**Key words:** *morbidity, polynomial model, way of life.*

Викладено математико-статистичну технологію моделювання з визначенням сили впливу комплексу соціально-гігієнічних факторів способу життя на захворюваність з тимчасовою втратою працездатності працівників промисловості, що ґрунтується на математичній теорії планування експерименту. Доведено, що, маючи математичний опис системи «Спосіб життя – захворюваність» на моделі «чорної скрині», можна цілеспрямовано змінювати вплив факторів й, у такий спосіб, перейти до свідомого формування здорового способу життя.

Изложена математико-статистическая технология моделирования с определением силы влияния комплекса социально-гигиенических факторов образа жизни на заболеваемость с временной потерей трудоспособности работающих промышленности, которая основывается на математической теории планирования эксперимента. Доказано, что, имея математическое описание системы «Образ жизни – заболеваемость» на модели «черного ящика», возможно целенаправленно изменять влияние факторов и, тем самым, перейти к сознательному формированию здорового образа жизни.

It was enunciated mathematic-statistical design technology with determination of force of way of life socially-gygienic factors complex influence on morbidity with the temporary loss of ability to work in industry workers which is based on the mathematical theory of experiment planning. It is proved that having mathematical description of the system «Way of life – morbidity» on the model of «black box», it is possible to change purposefully factors influence and thereby pass to voluntary forming of healthy way of life.

Для оптимального розв'язання питань управління станом здоров'я, розробки й реалізації науково обґрунтованих профілактичних і оздоровчих заходів система охорони здоров'я держава має потребу в сучасних методах визначення впливу соціально-гігієнічної системи факторів способу життя (СГСФСЖ) на формування здоров'я і захворюваності населення.

**МЕТА РОБОТИ**

На засадах математичної теорії планування експерименту розробити математико-статистичну технологію опису впливу факторів способу життя (СЖ) на формування рівня захворюваності з тимчасовою втратою працездатності (ЗТВП) працівників промисловості.

**МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для розробки математико-статистичної технології використано матеріали комплексного дослідження СЖ і ЗТВП працівників коксової і хімічної промисловості (КХП) України з використанням моделі типу «чорної скрині» («black box») та ідей і методів математичної теорії планування експерименту [1, 6]. Математико-статистична технологія використовується для моделювання та пошуку кількісних залежностей, що формують рівень ЗТВП від системи факторів СЖ серед працівників КХП. Цим компенсується наявний недолік інструментальних засобів з інформаційної підготовки управлінських рішень серед науковців, керівників органів і установ охорони здоров'я, оскільки аналогічні методи з даної тематики ще не знайшли віддзеркалення в джерелах наукової літератури та практичній діяльності [2,5,8].

**РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Вибір полінома першого ступеня для моделювання

впливу системи соціально-гігієнічних факторів на рівень ЗТВП ґрунтується на наявних наукових результатах, що свідчать про лінійну залежність між факторами і рівнем захворюваності. Для того, щоб моделювати процес формування рівня ЗТВП від обраних факторів, необхідно ці фактори вимірювати, тобто задавати їм різні рівні. При описі поверхні відгуку поліномом першого ступеня для визначення коефіцієнтів рівняння регресії (моделі) досить варіювати кожний фактор на двох рівнях – верхньому і нижньому, що відрізняються від основного на однакову величину (крок варіювання), свою для кожного фактора [1,4]. У планах повного факторного експерименту (ПФЕ) кожний з  $K$  досліджуваних факторів варіює на двох рівнях і реалізує різноманітні комбінації цих рівнів. Кількість таких комбінацій рівнів факторів  $N = 2^K$ , що становить для двох факторів  $2^2 = 4$ , для трьох  $2^3 = 8$  тощо.

Матеріалом для побудови матриці планування поліноміальної математичної моделі є дані комплексного соціально-гігієнічного дослідження СЖ і захворюваності працівників КХП. Розглянемо структуру плану типу  $2^3$  і математико-статистичну технологію розробки структурної матриці модельованого процесу, досліджуючи з позиції системного підходу вплив на формування рівня ЗТВП у випадках трьох факторів: санітарно-гігієнічні умови праці ( $x_1$ ), заняття фізичною культурою і спортом (ФКС) – ( $x_2$ ) та вік працівників ( $x_3$ ). У якості нижнього рівня фактора  $x_1$  обрана концентрація ароматичних вуглеводнів (АВ) – 50 мг/м<sup>3</sup>, у якості верхнього – 130 мг/м<sup>3</sup>, відповідно для фактора  $x_2$  – не займається ФКС і систематично займається ФКС, для фактора  $x_3$  – вікові групи до 30 років і 40 років і старші. Отже, за основу модельованого процесу взято план типу  $2^3$ , у якому перебираються різноманітні комбінації



Кодування і рівні факторів

Фактор	Код фактора	Рівні факторів	
		верхній +1	нижній -1
Санітарно-гігієнічні умови праці (концентрація ароматичних вуглеводнів (АВ) в атмосферному повітрі на робочих місцях, мг/м <sup>3</sup> )	x <sub>1</sub>	130	50
Заняття фізичною культурою і спортом (ФКС)	x <sub>2</sub>	систематично	не займається
Вік працівників	x <sub>3</sub>	40 років і старші	до 30 років

Таблиця 2

Розширена матриця повного факторного експерименту 2<sup>3</sup> для розрахунку коефіцієнтів математичної моделі (неповного квадратичного рівняння регресії) впливу комплексу соціально-гігієнічних факторів способу життя на середню кількість випадків тимчасової непрацездатності на одну особу на рік

Номер набору комбінацій рівнів факторів (НКРФ)	x <sub>0</sub>	Основні ефекти			Ефекти взаємодій				Відгук – середня кількість випадків тимчасової непрацездатності (СКВТН) на одну особу на рік (3-річні дані) y <sub>i</sub>
		нульовий порядок			першого порядку		другого порядку		
		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,27
2	+	+	-	-	-	-	+	+	1,34
3	+	-	+	-	-	+	-	+	0,19
4	+	+	+	-	+	-	-	-	0,72
5	+	-	-	+	+	-	-	+	0,67
6	+	+	-	+	-	+	-	-	2,56
7	+	-	+	+	-	-	+	-	0,41
8	+	+	+	+	+	+	+	+	1,49

варіювання трьох факторів на двох рівнях, де під рівнями розуміють граничні значення області зміни цих факторів. Рівні факторів кодуються у наступний спосіб: +1 – верхній рівень; -1 – нижній рівень кожного фактора (табл. 1).

Варіювання трьох факторів на двох рівнях припускає отримання 8 наборів усіх можливих неповторюваних комбінацій рівнів факторів. Кожен набір значень рівнів факторів виділяє групу працюючих галузі, що за характеристиками СЖ відповідають певному набору комбінацій рівнів факторів (НКРФ), що задаються матрицею планування з наступною реєстрацією даних ЗТВП (відгук) у кожного індивіда [4,6,7].

Стійкість і надійність статистичних характеристик відгуку (y) – середньої кількості випадків тимчасової непрацездатності (СКВТН) на одну особу за рік забезпечувалось використанням 3-річних даних про захворювання кадрових (стаж роботи не менше 5 років) працівників КХП. Отже, для отримання математичної моделі, що описує формування СКВТН на одну особу на рік від обраного набору факторів, використовують матеріали про тимчасову непрацездатність (у випадках) 2296 працівників КХП, які відібрані для проведення комплексного соціально-гігієнічного дослідження. Розширена матриця плану ПФЕ і результати відгуку – СКВТН на одну особу на рік для кожного з 8 наборів комбінацій рівнів факторів наведено в табл. 2.

При обробці ПФЕ 2<sup>3</sup> отримуємо поліноміальну залежність (математичну модель) СКВТН від обраного комплексу факторів:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, (1)$$

Для розрахунків оцінок коефіцієнтів моделі методом найменших квадратів використовується розширена матриця (табл. 2), що є планом для розрахунку всіх коефіцієнтів моделі – основних ефектів (факторів) **b**<sub>1</sub>, **b**<sub>2</sub>, **b**<sub>3</sub> та їх взаємодій — **b**<sub>12</sub>, **b**<sub>13</sub>, **b**<sub>23</sub>, **b**<sub>123</sub> [1,4,7]. Зміна рівня одного фактора, що супроводжується змінами величини відгуку при різних рівнях інших факторів, вказує на наявність взаємодії між факторами [1,7]. Для зручності обчислень у розширену матрицю планування введено змінну x<sub>0</sub> = +1, що використовується для оцінки вільного члена моделі (**b**<sub>0</sub>) і обчислюється як середнє значення відгуку (СКВТН на одну особу на рік) для всіх наборів комбінацій рівнів факторів. Властивості матриці дозволяють обчислити коефіцієнти моделі за наступною формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_j y_i}{N},$$

де y<sub>i</sub> – середня кількість випадків тимчасової непрацездатності (СКВТН) на одну особу на рік в i-тому наборі комбінацій рівнів факторів матриці планування (0,27, 1,34, ..., 1,49);

**N** – кількість наборів комбінацій рівнів факторів матриці планування (N = 8);

**i** – номер набору комбінацій рівнів факторів (i = 1,2, ..., N);

**j** – номер коефіцієнта (j = 1 ÷ K);

**K** – кількість коефіцієнтів у моделі.



Розрахунок коефіцієнтів моделі

$$b_0 = \frac{(+027)+(+1,34)+(+0,19)+(+0,72)+(+0,67)+(+2,56)+(+0,41)+(+1,49)}{8} = \frac{+7,65}{8} = +0,956$$

$$b_1 = \frac{(-027)+(+1,34)+(-0,19)+(+0,72)+(-0,67)+(+2,56)+(-0,41)+(+1,49)}{8} = \frac{(-1,54)+(+6,11) + 4,57}{8} = +0,571$$

Аналогічно розраховані інші коефіцієнти моделі згідно з отриманими даними з урахуванням умов комбінацій знаків розширеної матриці планування:

$$b_2 = -0,254; \quad b_{12} = -0,169, \quad b_{23} = -0,079,$$

$$b_3 = +0,326, \quad b_{13} = +0,171, \quad b_{123} = -0,034.$$

Отже, математична модель має наступний вигляд:

$$y = 0,956 + 0,571x_1 - 0,254x_2 + 0,326x_3 - 0,169x_1x_2 + 0,171x_1x_3 - 0,079x_2x_3 - 0,034x_1x_2x_3.$$

У модель входять не тільки лінійні члени, але й парні й потрійний член взаємодії факторів. Це означає, що аналізований процес формування рівня захворюваності з тимчасовою втратою працездатності є складною системою [4,6]. Модель дає наочне уявлення про кількісний вплив кожного фактора та їх взаємодій на показник – СКВТН на одну особу на рік і показує можливі напрямки в розробці заходів для зміни впливу досліджуваної системи факторів і керування процесом формування рівня захворюваності з тимчасовою втратою працездатності.

Розроблена математико-статистична технологія дає можливість отримати змістовні результати на основі багатфакторних моделей для розв'язання наступних завдань:

- 1) кількісно оцінити ступінь впливу факторів на показник захворюваності й, у такий спосіб, розташувати їх у ряд переваги;
- 2) встановити спрямованість впливу факторів на зниження або збільшення показника захворюваності;
- 3) оцінити кількісні впливи ефектів взаємодії факторів на показник захворюваності;
- 4) використати виявлені закономірності з метою керування процесами, що формують рівень захворюваності;
- 5) застосувати математичну модель для прогнозування показників захворюваності при різному сполученні рівнів факторів;
- 6) на етапі розробки оцінити соціальну ефективність організаційних, лікувально-профілактичних, оздоровчих, санітарно-гігієнічних і санітарно-технічних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і зниження рівня захворюваності працівників КХП [3,5,8].

Отже, методично обґрунтовано і математично коректно отримано поліноміальну модель, що математичними символами статистично описує досліджувану систему [1,6]. Тепер треба перекласти мову математика на професійну мову соціалгігієніста й організатора охорони здоров'я, тобто дати інтерпретацію моделі у професійному аспекті предметної області, визначити, яку нову інформацію можна використати для підготовки і прийняття рішень з розробки комплексу профілактичних і оздоровчих заходів. Тому наступним етапом в обговоренні результатів роботи є аналіз і інтерпретація математичної моделі (3-факторне неповне

квадратичне рівняння регресії) впливу системи соціально-гігієнічних факторів на рівень захворюваності з тимчасовою втратою працездатності [4, 6].

Головним досягненням комплексного соціально-гігієнічного дослідження є корисна інформація, отримана в результаті роботи при аналізі математичної моделі, що описує процес формування рівня ЗТВП. Кількість факторів, включених у модель, пов'язана з вирішенням завдання підготовки управлінського рішення, але якщо кількість факторів у моделі перевищує 5–6, трудомісткість розрахунку коефіцієнтів вимагає застосування обчислювальної техніки для обробки значного за обсягом статистичного матеріалу, що збільшується в геометричній прогресії з введенням кожного додаткового фактора. Варто підкреслити, що інформація, отримана на основі аналізу математичної моделі, буде тільки тоді надійною основою для розробки заходів і прийняття управлінських рішень, якщо структура елементів, що створюють факторний простір, обраний для побудови моделі, відповідатиме структурі елементів реально існуючого процесу, що формує рівень захворюваності [2,3,8].

Загальний аналіз значень СКВТН на одну особу на рік, прогнозований моделлю, показує, що їх діапазон перебуває в межах від 0,19 до 2,56 випадку, тобто різниця складає 13,5 рази (різниця показників 2,37;  $p < 0,001$ ;  $t = 93,8$ ). Мінімальне значення СКВТН на одну особу на рік отримано при найбільш сприятливому сполученні рівнів факторів (значення факторів  $x_1$  і  $x_3$  на нижньому рівні,  $x_2$  – на верхньому), а максимальні значення СКВТН на одну особу на рік отримано при найбільш несприятливому сполученні рівнів факторів (значення факторів  $x_1$  і  $x_3$  на верхньому рівні,  $x_2$  – на нижньому).

Коефіцієнт  $b_0$  показує, що в середньому на одного працівника КХП припадає 0,956 випадки тимчасової непрацездатності на рік або 95,6 випадки на 100 працівників. При комплексному соціально-гігієнічному дослідженні суцільним методом ЗТВП працівників галузі (близько 89 тисяч осіб) показник склав  $97,2 \pm 0,24$  випадка на 100 осіб. Різниця порівнюваних показників (отриманих за даними ПФЕ 2<sup>3</sup> і суцільного вивчення ЗТВП серед працівників галузі) виявилась статистично недостовірною ( $p > 0,05$ ;  $t = 1,76$ ). Однак, для отримання показника СКВТН на одну особу на рік за допомогою ПФЕ типу 2<sup>3</sup> використовують статистичну вибірку, в 39 разів меншу за обсягом, при цьому вірогідність отриманої інформації не зменшується.

Порівняння коефіцієнтів лінійних ефектів ( $b_1, b_2, b_3$ ) між собою за модулем дозволяє ранжувати їх за ступенем впливу на параметр, який оптимізується (показник захворюваності), що необхідно для вибору керуючих дій і прийняття рішень стосовно заходів, спрямованих на мінімізацію показника захворюваності. Найбільш значущий вплив на параметр (показник захворюваності –  $y$ ), що оптимізується, має фактор  $x_1$  – санітарно-гігієнічні умови праці; фактори  $x_2$  (ФКС) і  $x_3$  (вік працівників) близькі за силою впливу й у 1,8–2,2 рази менші за силою впливу на показник захворюваності ніж  $x_1$ . На характер спрямованості впливу факторів вказують знаки у коефіцієнтів; якщо знак мінус, то цей вплив має зворотне



спрямування. Для мінімізації показника захворюваності у необхідно зменшувати вплив факторів  $x_1$  і  $x_3$  і збільшувати  $x_2$ , тобто поліпшувати умови праці, знизити вік працюючих, збільшувати кількість працівників у галузі, які систематично займаються фізичною культурою і спортом (ФКС).

Практичний професійний інтерес для соціалгігієністів представляє аналіз ефектів подвійних взаємодій факторів. Взаємодії виникають у тому випадку, якщо ефект одного фактора залежить від рівня, на якому перебуває інший. Аналіз ефектів подвійних взаємодій факторів показує, що значущий вплив на формування СКВТН на одну особу на рік має взаємодія факторів  $x_1$  і  $x_2$  ( $b_{12} = -0,169$ ) і  $x_1$  і  $x_3$  ( $b_{13} = +0,171$ ), ніж взаємодія факторів  $x_2$  і  $x_3$  ( $b_{23} = -0,079$ ). Абсолютне значення коефіцієнтів ефекту взаємодії факторів показує, наскільки зміниться швидкість зниження (росту) показника захворюваності у, наприклад, залежно від  $x_1$ , якщо інші фактори  $x_2$  і  $x_3$  зміняться на  $|1|$ .

Апріорна інформація дає соціалгігієністу й організатору охорони здоров'я певне уявлення про характер впливу факторів на формування рівня ЗТВП й, у такий спосіб, полегшує розуміння процесу, описаного математичною моделлю, у якій представлено ефекти взаємодії двох факторів з позитивним і негативним знаком. Інтерпретація ефектів взаємодії складніша, ніж лінійних ефектів. При цьому для глибокого розуміння процесу формування ЗТВП, об'єктивної інтерпретації та правильного прийняття управлінського рішення для мінімізації ( $y$  – СКВТН на одну особу на рік) необхідно враховувати як знаки коефіцієнтів взаємодії двох факторів, так і знаки коефіцієнтів лінійних ефектів. Отже, на другому етапі важливо особливо увагу приділити аналізу й інтерпретації ефектів взаємодій факторів.

Перші 4 набори комбінацій рівнів факторів (НКРФ) представляють результати відгуку – СКВТН на одну особу на рік серед 30-річних працівників галузі (табл. 2). Отже, стабілізуємо фактор  $x_3$  на рівні – 1. З порівняння й аналізу результатів відгуків НКРФ 1 (0,27) і НКРФ 3 (0,19) випливає, що за сприятливих умов праці серед осіб віком до 30 років, які не займаються ФКС і систематично займаються ФКС, проявляється ефект взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_2$ , що виражається в різній СКВТН на одну особу на рік, їх співвідношення становить 1,4 : 1.

Серед працівників КХП у несприятливих умовах віком до 30 років і які не займаються та систематично займаються ФКС, результати відгуків НКРФ 2 (1,34) і 4 (0,72) співвідносяться як 1,9 : 1. Це дає підставу зробити висновок, що ефект взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_2$  виявляється при переході факторів з одного рівня на інший і більш виражений серед працюючих у несприятливих санітарно-гігієнічних умовах праці. В сенсі практичної розробки і реалізації заходів зі зниження ЗТВП варто передбачати розвиток ФКС й, у першу чергу, серед працюючих у несприятливих умовах праці.

Різниця СКВТН на одну особу на рік серед 30-річних осіб, які працюють у сприятливих умовах праці (НКРФ 1 і 3), але відмінних за ставленням до занять ФКС, становить усього 0,08 випадку на одну особу на рік ( $p < 0,05$ ;  $t = 4,4$ ), у працюючих у несприятливих умовах праці, які не займають-

ся і систематично займаються ФКС (НКРФ 2 і 4), різниця СКВТН на одну особу на рік склала 0,62 випадку ( $p < 0,05$ ;  $t = 18,2$ ). Аналогічні результати випливають з аналізу ефектів взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_2$  серед працівників КХП 40 років і старших, тільки при відносно вищих значеннях відгуків ( $y$ ). Саме у цьому і проявляється ефект взаємодії фактора  $x_3$  (вік працівників) з іншими факторами, включеними до моделі. Отже, коли зміна рівня одного фактора ( $x_3$ ) супроводжується змінами величини залежної змінної (відгуку –  $y$ ) – СКВТН на одну особу на рік при різних рівнях інших факторів ( $x_1$  і  $x_2$ ), між факторами існує і виявляється взаємодія. Крім того, статистичний аналіз і порівняння кількісних значень СКВТН на одну особу на рік серед працівників вікової групи 40 років і старших доводить статистично достовірну різницю між порівнюваними відгукими: НКРФ 5 і 7, різниця показників 0,24 ( $p < 0,05$ ;  $t = 9,4$ ); НКРФ 6 і 8, різниця показників 1,07 ( $p < 0,05$ ;  $t = 43,7$ ). Різні сполучення рівнів факторів  $x_1$  (санітарно-гігієнічні умови праці) і  $x_2$  (ФКС) статистично значущо впливають на процес формування рівня ЗТВП серед осіб різних вікових груп. Систематичні заняття ФКС статистично вірогідно знижують показники СКВТН на одну особу на рік й особливо виражений цей вплив на працюючих у несприятливих санітарно-гігієнічних умовах.

Для аналізу ефекту взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_3$  ( $b_{13} = +0,171$ ) стабілізуємо фактор  $x_2$  на нижньому рівні (НКРФ 1, 2, 5, 6). При зіставленні результатів відгуків НКРФ 2 (1,34) і 6 (2,56) встановлено, що за несприятливих умов праці серед осіб віком 40 років і старших, які не займаються ФКС, відзначається найбільш висока СКВТН – 2,56 на одного працівника на рік (різниця показників 1,22;  $p < 0,05$ ;  $t = 40,0$ ). При переході фактора  $x_3$  на нижній рівень (НКРФ 2) СКВТН на одного працівника на рік зменшується в 1,91 рази. Розглядаючи прояв ефекту взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_2$  при НКРФ 1, слід зазначити, що перехід фактора  $x_1$  на нижній рівень (сприятливі умови праці) СКВТН знижується до 0,27 випадку на одного працівника на рік, тобто в 4,96 рази у порівнянні з НКРФ 2 (різниця показників 1,07;  $p < 0,05$ ;  $t = 41,2$ ). Співвідношення СКВТН на одного працівника на рік НКРФ 6 і 1 дорівнює 9,48:1. При стабілізації фактора  $x_2$  на верхньому рівні (НКРФ 3 і 4) також проявляється ефект взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_3$ , але тільки на нижчих значеннях СКВТН на одного працівника на рік. Результати НКРФ 7 і 8 показують, що при переході фактора  $x_1$  з нижнього рівня на верхній відгук ( $y$ ) зростає в 3,6 рази. За умови стабілізації факторів  $x_1$  і  $x_3$  на нижньому рівні (НКРФ 3) СКВТН становить 0,19 випадки на одного працівника на рік і, в порівнянні з НКРФ 8 (1,49), зниження відбувається в 7,8 рази. Отже, ефект взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_3$  проявляється в зміні СКВТН на одного працівника на рік в інтервалі 3,6–7,8 рази залежно від сполучення рівнів факторів.

Інтерпретація ефекту взаємодії факторів  $x_2$  і  $x_3$  ( $b_{23} = -0,079$ ) виявляє важливу для практичного використання закономірність зміни СКВТН на одного працівника на рік залежно від сполучення рівнів цих факторів (систематичність занять ФКС і віку працюючих). Стабілізуємо фактор  $x_1$  (санітарно-гігієнічні умови праці)



на верхньому рівні (НКРФ 2, 4, 6 і 8). При зіставленні відгуків ( $y$ ) НКРФ 4 (0,72) і 6 (2,56) відзначено, що перехід рівня фактора  $x_2$  з нижнього на верхній, а фактора  $x_3$  з верхнього на нижній СКВТН на одного працівника на рік знижується в 3,6 рази (різниця показників 1,84;  $p < 0,05$ ;  $t = 58,0$ ). Із зіставлення СКВТН на одного працівника на рік при стабілізації фактора  $x_1$  на нижньому рівні НКРФ 3 (0,19) і 5 (0,67) випливає, що зниження показника відбувається в 3,5 рази (різниця показників 0,48;  $p < 0,05$ ;  $t = 18,1$ ). З цього випливає практично важливий висновок, що за несприятливих санітарно-гігієнічних умов праці ефект взаємодії факторів  $x_2$  і  $x_3$  проявляється більш значущо, ніж за сприятливих умов.

Наступний етап аналізу поліноміальної моделі передбачає інтерпретацію ефектів взаємодії факторів високих порядків. У розробленій математико-статистичній моделі значущим на формування СКВТН виявився ефект взаємодії 3 факторів ( $b_{123} = -0,034$ ), який можна інтерпретувати в наступний спосіб. Знак мінус буде, якщо непарна кількість факторів має знак мінус (всі 3 або будь-який один). Це класичне арифметичне правило перемноження знаків поширюється на ефекти взаємодії будь-яких порядків (табл. 2). З метою інтерпретації ефектів взаємодії факторів треба використати наступний прийом. Добуток 2 факторів умовно вважають одним фактором і зводять трифакторну взаємодію до парної тощо. Приймаємо добуток факторів  $x_1$  і  $x_3$  за один фактор, ефект взаємодії яких ( $b_{13} = +0,171$ ) спрямований на підвищення СКВТН. Однак, при взаємодії з фактором  $x_2$  (ФКС) ефект потрібної взаємодії факторів  $x_1x_2x_3$  ( $b_{123} = -0,034$ ) змінюється на протилежний і спрямований на зниження СКВТН. Цей ефект взаємодії трьох факторів  $x_1x_2x_3$  інтерпретується у наступний спосіб: на фоні систематичних занять ФКС відбувається значне послаблення впливу несприятливих санітарно-гігієнічних умов праці та віку працівників на формування СКВТН. Підтвердженням цьому слугує порівняння СКВТН на одного працівника на рік НКРФ 6 (2,56) і 3 (1,49), працівники КХП, які належать до вікової групи 40 років і старші, працюють у несприятливих санітарно-гігієнічних умовах праці, але різняться за ставленням до занять ФКС.

## ВИСНОВКИ

Математична теорія планування експерименту, її ідеї і методи можуть використовуватись у комплексних соціально-гігієнічних дослідженнях системи «соціально-гігієнічна сфера способу життя – захворюваність» для отримання моделі виду «чорної скриньки».

Розроблена математико-статистична технологія отримання поліноміальної математичної моделі спроможна адекватно визначати вплив факторів способу життя на формування рівня захворюваності з тимчасовою втратою працездатності

й довела свою практичну значущість і може використовуватись для розробки комплексних планів оздоровлення працівників промисловості.

3. Аналіз ефектів взаємодії соціально-гігієнічних факторів способу життя переконливо доводить доцільність комплексного рішення профілактичних та оздоровчих заходів (за рахунок мультиплікативної взаємодії факторів) для досягнення максимального ефекту у зниженні показників захворюваності.

4. Отримана математична модель дає можливість прогнозувати ймовірний показник захворюваності (СКВТН на одну особу на рік) всередині області факторного простору (інтерполяційне прогнозування) при різних наборах комбінацій рівнів факторів.

5. Застосування поліноміальних математичних моделей дозволяє заздалегідь передбачати резерви зниження захворюваності з тимчасовою втратою працездатності за рахунок цілеспрямованої розробки комплексів заходів і оцінки очікуваного ефекту від їх реалізації.

6. Запропонований новий методичний підхід у світлі сучасних вимог надає широкі можливості підвищення ефективності діяльності керівників органів і установ охорони здоров'я в підготовці та прийнятті управлінських рішень.

7. Використання розробленої математико-статистичної технології сприятиме підвищенню обґрунтованості, дієвості й ефективності прийнятих управлінських рішень керівниками органів і установ охорони здоров'я, лікарями лікувально-профілактичних закладів (ЛПЗ), санітарно-епідеміологічної служби (СЕС), центрів здоров'я.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Глушкова Л.И. К вопросу формирования здорового образа жизни / Л.И. Глушкова // Здравоохр. Рос. Фед. – 2008. – №1. – С. 33–34.
3. Жаров А.А. Гигиенические аспекты формирования здорового образа жизни / А.А. Жаров, Н.И. Новичкова // Вестн. Рос. АМН. – 2005. – №3. – С. 9–12.
4. Клар Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клар; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
5. Кочін І.В. Моделирование і оцінка впливу системи соціально-гігієнічних факторів на рівень захворюваності як інформаційна основа формування здорового способу життя / І.В. Кочін // Україна. Здоров'я нації. – 2009. – №1–2 (9–10). – С. 140–147.
6. Валуев С.А. Системный анализ в экономике и организации производства / С.А. Валуев, В.Н. Волкова, А.П. Градов и др. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.
7. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.
8. Янченко С.М. Нормативно-правові аспекти формування здорового способу життя населення України (за даними наукової літератури) / С.М. Янченко // Вісн. соц. гігієни та орг. охорон. здоров'я України. – 2005. – №4. – С. 83–87.

## Відомості про автора:

Кочін І.В., д. мед. н., професор, зав. каф. цивільного захисту та медицини катастроф ДЗ «ЗМАПО МОЗ України», академік Української академії оригінальних ідей.

## Адреса для листування:

Кочін Ігор Васильович. 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, буд. 55, кв. 15. Тел.: (061) 764 19 79. E-mail: zmapo@33zr.ua

Поступила в редакцію 20.06.2011 г.