

БІОЛОГІЧНІ ТА МЕДИЧНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 681.586.773

Й. І. СТЕНЦЕЛЬ, С. В. ПАВЛОВ, С. М. ЗЛЕПКО

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

ПРИНЦИПИ ФІЗИЧНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕІНВАЗИВНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Анотація. У роботі наведено результати аналізу теоретичних та експериментальних досліджень роботи біологічного організму, принципи діагностування стану людського організму. Показано, що діагностика стану здоров'я людини базується на основі прямого перенесення енергії, маси та кількості руху без врахування принципів їх створення, реологічних переходів, перетворень і стоку того чи іншого явища перенесення.

Ключові слова: біологічний організм, діагностика, стан, явище перенесення, реологічний перехід, стік, похибка, контроль, час, джерело, випромінювач.

Аннотация. В работе приведены результаты анализа теоретических и экспериментальных исследований работы биологического организма, принципы диагностирования состояния человеческого организма. Показано, что диагностика состояния здоровья человека базируется на основе прямого переноса энергии, массы и количества движения без учета принципов их создания, реологических переходов и стока того или иного явления переноса.

Ключевые слова: биологический организм, диагностика, состояние, явление переноса, реологический переход, с ток, погрешность, контроль, время, источник, излучатель.

Abstract. The paper presents the results of the theoretical and experimental studies of the biological organism, the principles of diagnostics of the human body. It is shown that the diagnosis of human health is based on the direct transfer of energy, mass and momentum excluding principles of their creation, rheological transitions, transformations and flow of a transfer phenomena.

Keywords: biological organism, diagnosis, condition, transport phenomena, flow switch, flow, accuracy, control, time, source, radiator.

Вступ

Вивчення процесів перенесення енергії, маси та кількості руху привело до подальшого, більш чіткого розуміння багатьох фундаментальних аспектів явищ, котрі протікають в біологічній структурі і зокрема в організмі людини. За минулий час вченими отримано детальне пояснення багатьох механізмів руху матеріальних, теплових та енергетичних потоків і їх перенесення в організмі людини як у необмеженому, спокійному її стані, так і в замкнених об'ємах тіла. Велика увага приділена також найбільш складним видам перенесення, який об'єднує властивості як зовнішніх, так і внутрішніх процесів.

Явища перенесення в людському організмі, котрі виникають у звичайних умовах під дією впливових сил, надзвичайно різноманітні. Вони існують в об'ємах одно- та багатозначних біологічних структурах. Матеріальний чи тепловий об'єм такої структури будь-якого масштабу може піддаватися дії впливової сили, яка виникає однократно чи багатократно від багатьох різноманітних видів і суміщення фізико-хімічних процесів. Впливова сила виникає через різницю тиску, депресію температур чи маси, механічних напружень електричної, магнітної та інших сил.

За останні роки в біомедичній кінетиці появився новий науковий напрямок, суть якого полягає в комплексному вивченні біохімічних процесів у сукупності з фізичними процесами перенесення кількості теплоти, маси та енергії. Процеси, котрі рахувалися в класичній біохімічній кінетиці збуреннями та викривляли хід реакції біоструктури на механічні, теплові та енергетичні подразники, набули зацікавленість якраз в комбінації з біохімічними процесами. Таке суміщення біохімічної кінетики з теорією дифузії [1-6], теплопередачі [7-11], гідродинамікою [12-16] дозволило отримати низку теоретично цінних результатів, розробити нові методи вивчення стану здоров'я людини та підвести науковий фундамент під теорією таких важливих біомедичних процесів, як створення пухлин, розчинення біомедичних препаратів, основні процеси біохімічних технологій при діагностуванні та лікуванні тощо.

Класична біохімічна кінетика [1, 3, 5] вивчає протікання біохімічної реакції в ідеалізованих умовах: за сталою (як в часі, так і в просторі) температурою тіла та сталих у біоструктурі концентраціях речовин. Задачею макроскопічної біохімічної кінетики є вивчення біохімічних перетворень у реальних умовах її макроскопічного протікання в організмі людини, тобто з врахуванням сторонніх фізико-хімічних процесів, котрі накладаються на основний. Найважливішими з фізичних процесів є дифузія початкових речовин, котрі уводяться в організм людини, і продуктів біохімічних реакцій, а також виділення та розповсюдження їх результату за рахунок перенесення теплових потоків, енергетичних полів та кількості руху, наприклад, потоком крові, лімфориди, води тощо. На такі процеси сильно впливає характер руху таких потоків і полів, котрі приводять до конвекційного та кондуктивного перенесення кількості маси, енергії (наприклад, теплової) та руху [10-13].

Вивчення макроскопічної біокінетики дозволяє розробляти методи діагностики істинної біохімічної кінетики та механізму біохімічних процесів, безпосереднє дослідження яких ускладнюється факторами перенесення маси, енергії та кількості руху [1, 5, 6,10,15,16]. Конвекційне перенесення речовини в організмі людини пов'язане з турбулентним рухом крові та лімфатичних рідин у відповідних біологічних каналах та рідинно-твердих речовин у шлунково-кишковому тракті. Таким чином, макроскопічна біохімічна кінетика являє собою результат синтезу двох наукових напрямів: біохімічної кінетики, з однієї сторони, і теорії процесів дифузії речовин перетворення (спалювання) і теплопередачі біохімічної енергії — з іншої.

Мета статті

Виконати аналіз біологічного організму як об'єкта вимірювального контролю та діагностики та розробити принципи фізичного та математичного моделювання неінвазивних методів діагностики стану здоров'я людини на основі теорії реологічних переходів та перетворень.

Постановка задачі

Майже всі явища перенесення маси, енергії та кількості руху мають загальні риси але відрізняються від процесів перенесення, які обумовлені звичайними видами прикладання сили, типу вимушеного руху [12-18]. Характерною відмінністю є те, що заздалегідь дуже мало відомо про результуючий напрямок руху в організмі людини, який виникає під дією тої чи іншої сили. Поля напрямку руху маси, енергії чи кількості руху завжди тісно пов'язані поміж собою тому їх необхідно розглядати сумісно, Сам напрямок руху може бути порівняно незначним. Це значить, що швидкості перенесення в цьому напрямку достатньо малі, а інерційні течії прилягають до поверхні, котрі рівномірно розподіляють потік маси, енергії чи кількості руху. Існує багато різних сил, як різниця густин при перенесенні кількості маси речовини, різниця температур при перенесенні кількості тепла та маси, різниця потенціалів при перенесенні кількості електромагнітної чи іншої енергії, різниця зусиль при перенесенні механічної енергії, котрі викликають рух відповідних потоків [2-7]. Рух матеріального чи енергетичного потоку є фіксованим у просторі через наявність стійкої поверхні розділу фаз, наприклад поверхні розділу між біологічною структурою та рідиною. Як відомо [23, 24], у хімічній технології всі тепло-масообмінні та хімічні процеси супроводжуються відповідними реологічними переходами та перетвореннями, які в значній мірі суттєво впливають на їх результат. Так як у біологічному організмі мають місце аналогічні процеси, то актуальною є задача вивчити біологічні процеси на основі фізичних переходів та математичних перетворень, враховуючи, що кожний фізичний перехід має зону реологічного переходу, а математичне перетворення описує таку зону інтегральною імпульсною дельта-функцією Дірака.

Структура біохімічних переходів та перетворень у біологічному організмі

Так як в основі роботи кожного біологічного організму лежить біохімічне перетворення, то його біологічний процес у першому наближенні можна представити схемою, яка складається з основного біохімічного реактора, первинного ректифікаційного апарату, вторинного ректифікаційного апарату, сепараторів, холодильників, фільтрів і трубопроводів (рис. 1). У біологічному організмі основний біохімічний реактор поєднується з первинним ректифікаційним апаратом і називається шлунком. Вхідним матеріальним потоком такого реакторно-ректифікаційного апарату (РРА) є роздіблена та змочена харчова речовина. Під дією соляної кислоти й різноманітних добавок (ферментів) у шлунку проходять біологічні хімічні реакції, в результаті котрих харчова речовина розділяється на відповідні фракції, котрі виводяться зі шлунку. Тобто в шлунку проходить первинна переробка харчової речовини (ППХР) на легку та важку частини. Легка частина ППХР є найбільш цінною для біологічного організму, виводиться через стінку шлунку і направляється для живлення кровеносної системи, підшлункових органів, почок, печінки та інших важливих органів. Важка частина поступає в кишковий тракт, де в результаті вторинних біохімічних реакцій виводяться допоміжні фракції, котрі створюють відповідні зворотні зв'язки та забезпечують стабілізацію вихідних координат основних біологічних органів, включаючи й мозок.

Легка частина ППХР складається з багатьох фракцій, котрі відводяться зі шлунку відповідними елементами (за аналогією з тарілками ректифікаційних колон) і за заданою біопрограмою направляються відповідними мікротрубними каналами до того чи іншого органу біологічного організму, котрий у свою чергу є вторинним біохімічним реактором. Відходи переробки легкої частини ППХР виводяться з організму через потові залози, а також через інші системи. Кишковий тракт важкої частини ППХР теж являє собою аналог ректифікаційного апарату, в якому на відповідних ділянках виводяться ті чи інші її фрагменти. Останні за відповідною біопрограмою поступають у різні елементи біологічного організму. Між первинним і вторинним ректифікаційним апаратами розташовуються різні біосистеми, серед яких основними можуть бути наступні: мозкова система, до якої входить блок головного та спинного мозку; кровеносна система, до якої можна віднести серце, (рушійно-силовий блок), печінку (блок фільтрації

крові) та периферійний судинний блок; моченосна система, до якої входять: почки, блок накопичення та виведення мочі з біологічного організму; лімфеносна система, котра складається з блоку створення та накопичення лімфатичної рідини та блоку перенесення цієї рідини по лімфосудинах; м'язосилова система, яка складається з шлунково-кишечного м'язового блоку, блоку формування рухо-поступальних і поворотних дій, блоку формування роботи судинної та лімфатичної систем; кістково-формуєчої системи, до складу якої входить блок накопичення твердої біологічної структури, блок накопичення кальцію та інших інгредієнтів, а також блоку виробництва мастильної системи для суглобів. Окрім систем, котрі забезпечують основні функції біологічного організму, до складу останнього входить система підготовки біореагентів, котрі забезпечують роботу шлунка як біореактора. До цієї системи можна віднести, наприклад, блок жовчного міхура, підшлункову залозу, селезінку тощо.

Таким чином біологічний організм є складною біокомп'ютерною багатопараметричною системою управління, інтерфейсом зв'язку якої є сам біологічний організм з його здоровою, нервово-подразнюючою, термодинамічною, біохімічною, електромагнітною та іншими малими системами, котрі являють собою давачами різноманітної інформації вимірювального контролю. За аналогією з комп'ютерно-інтегрованими системами контролю та управління технологічними процесами (KICKY-TP) в біологічному організмі можна виділити три основні блоки (контролери) приймання, обробки та видання вимірювальної інформації: первинний «контролер» - головний мозок, у котрому записана біопроба функціонування біологічного організму, вторинний «контролер» - спинний мозок, у котрому записана програма рухомих дій і третинний «контролер» - серцева система з її джерелами енергоживлення всіх елементів біосистеми, забезпечуючи захист від різноманітних електромагнітних впливів, а також відповідний їх ритм роботи [19-22]. На рис. 1 лініями зі стрілками показані основні функціональні зв'язки первинного реакторно-ректифікаційного апарату (шлунку) і вторинного RECTИФІКАЦІЙНОГО апарату (кишечника) з основними життєзабезпечуючими системами.

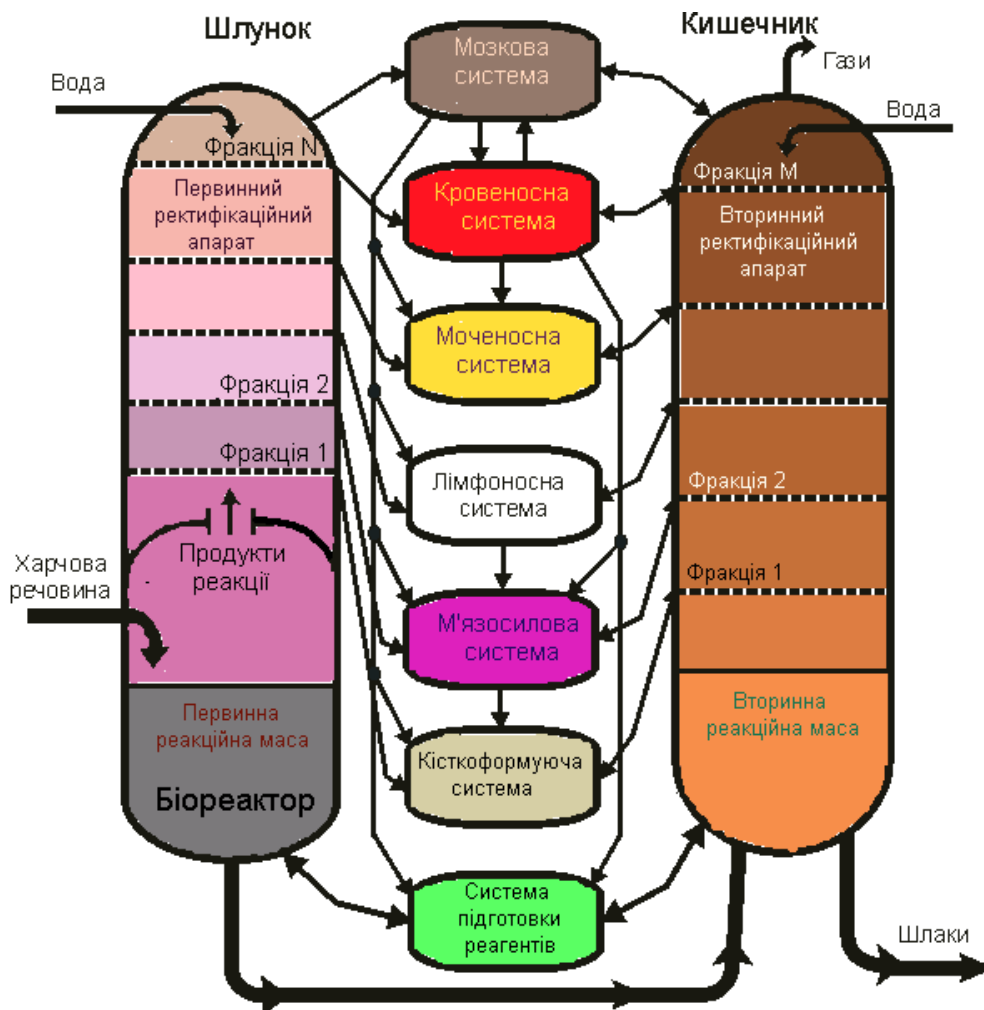


Рисунок 1 – Спрощена структурна схема біологічного організму

Між ректифікаційними апаратами та іншими системами існують як прямі так і зворотні зв'язки. Окрім того між самими системами теж існують відповідні зв'язки. Зворотні зв'язки в біологічному організмі за аналогією з системами автоматичного регулювання виконують стабілізуючу роль, тобто підтримують основні життєзабезпечуючі параметри (ОЖП) на заданому рівні, притаманному здоровому організму, наприклад, стабілізація температури біоорганізму при зміні температури навколишнього середовища за рахунок потовиділення, стабілізації кислотно-сольового складу реакційної маси шлунку за рахунок додаткового споживання води, стабілізація величини світлового потоку за рахунок звуження чи розширення зіниць ока та багато інших. За аналогією з КІСКУ-ТП ОЖП мають відповідні допустимі межі сигналізації та блокувань. Так, наприклад, при порожньому шлунку поступає сигнал з головного мозку про необхідність його наповнення, при повному шлунку – втрачається апетит до їжі, при високому або низькому кислотно-сольовому складі реакційної маси шлунку pojawiaються в ньому больові симптоми.

Біологічний організм як об'єкт контролю, управління та реологічних переходів

Кожен апарат чи система біологічного організму є об'єктом контролю та управління, який має вхідні x_i , вихідні y_j і збурюючі z_n координати. У кожному апараті чи системі проходять відповідні переходи енергії, маси чи кількості руху, в результаті чого мають місце реологічні перетворення маси біоречовин, їх теплової енергії та кількості руху [23]. Так як такі процеси відносяться до основних явищ перенесення, котрі в теорії масо-теплоперенесення описуються законами Фур'є, Фіка та Ньютона, то з їх допомогою можна описувати аналогічні процеси в біологічному організмі. Як і в інших тепло-масообмінних процесах, при реологічних переходах біологічних організмів структурно мають місце наступні їх складові: область джерела живлення, тепла і кількості руху, зону реологічного переходу (перетворення маси, енергії і кількості руху) та область стоку створюваної енергії, маси та кількості руху (рис.2). У найпростішому вигляді кожний реологічний перехід складається з трьох блоків: 1 – блок є джерелом накопичення маси, енергії та кількості руху; 2 – блок є зоною реологічного перетворення маси, енергії та кількості руху за рахунок фізико-хімічного перетворення; 3 – блок стоку (виведення) нового продукту, енергії та кількості руху. Реологічний процес проходить як в часі t , так і за просторовими координатами x, y, z .

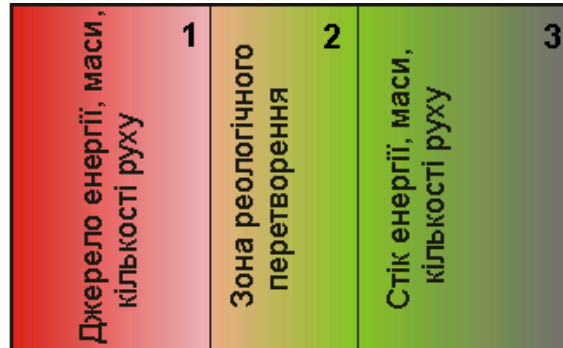


Рисунок 2 – Структурна схема реологічного переходу

Принцип роботи реологічного переходу полягає в тому, що з блоку 1 маса (енергія чи кількість руху) неперервно поступає в блок 2, в якому за рахунок фізико-хімічних дій перетворюється в іншу форму (наприклад, процеси розкладання, хімічні реакції, кількість руху), а нова речовина (енергія чи кількість руху) з блоку 2 виводиться (стікає) в інше середовище, яким може бути газ, рідина чи тверда речовина [24]. З цього випливає важливий для подальших досліджень висновок, що в блоках 1 і 3 мають місце процеси явищ перенесення як за часом, так і за просторовими координатами, а в блоці 2 – тільки за часом. Якщо прийняти, що джерело та стік є безмежними, то процес реологічного переходу можна зобразити схемою, приведеною на рис.3.

Як показують теоретичні та експериментальні дослідження, зона реологічного перетворення являє собою об'єм $V_{рп} = x_{рп} y_{рп} z_{рп} = const$ для відповідного реологічного переходу і є функцією тільки часу перетворення.

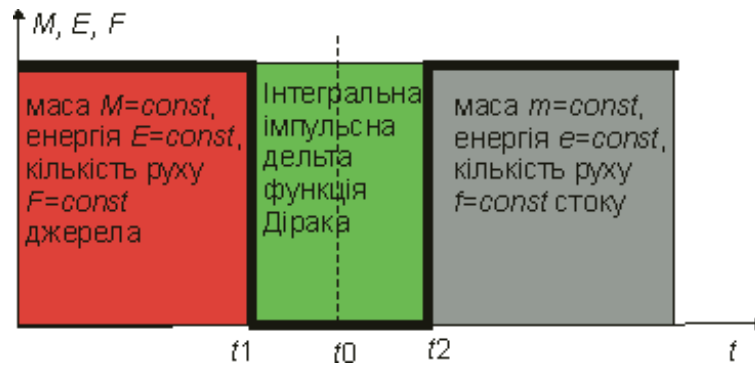


Рисунок 3 – Структурна схема реологічного переходу

Як показують теоретичні та експериментальні дослідження, зона реологічного перетворення являє собою об'єм $V_{RP} = x_{RP}y_{RP}z_{RP} = const$ для відповідного реологічного переходу і є функцією тільки часу перетворення.

Принципи фізичного та математичного моделювання реологічних перетворень у біологічному організмі

Якщо параметри джерела позначити функцією $\xi_D(x, y, z, t)$, параметри стоку функцією $\xi_C(x, y, z, t)$, а параметри інтегральної імпульсної δ -функції Дірака $\xi_I(V_{RP}, t)$, то процес реологічного переходу, показаний на рис. 3, можна описати наступними рівняннями для:

$$\text{- джерела перенесення } \xi_D(x, y, z, t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t = 0 \\ 1 & \text{при } t = \infty \end{cases};$$

$$\text{- стоку перенесення } \xi_C(x, y, z, t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t = 0 \\ 1 & \text{при } t = \infty \end{cases};$$

- зони реологічного перетворення

$$\xi_I(V_{RP}, t) = \int_{t_1}^{t_2} f(\zeta) \delta(\zeta - t_0) d\zeta = \begin{cases} 0 & t_0 < t_1, \quad t_0 \geq t_2 \\ f(t_0 + 0) & t_1 < t_0 < t_2 \end{cases},$$

де ζ - деяка змінна; $\delta(\zeta - t_0)$ - ядро лінійного інтегрального перетворення; t_0 - середнє значення часу фазового переходу; $\delta(\zeta) = \frac{d}{d\zeta} f(\zeta)$ - одинична ступінчаста імпульсна δ -функція; $f(\zeta)$ - функція розподілення маси, енергії та кількості руху в зоні реологічного перетворення.

Для структурної схеми рис. 3 функція $f(\zeta) = 1$. У реальних умовах перенесення маси, енергії та кількості руху їх функції розподілення $\xi_D(x, y, z, t)$, $\xi_C(x, y, z, t)$ і $\xi_I(V_{RP}, t)$ не дорівнюють одиниці, а саме реологічне перетворення може бути складним, наприклад, багатастадійним. Окрім того процес стоку, котрий є накопичувальним, може бути як аперіодичним, так і коливальним та описуватися диференціальним рівнянням високого порядку. Такі реологічні переходи мають місце в кожному блоці чи системі біологічного організму, котрий характеризується великою кількістю внутрішніх контролюючих параметрів. Багато з цих параметрів володіють сигнальними функціями, за рахунок чого біологічний організм відчуває біль в тому чи іншому елементі (блоці, системі), відсутність апетиту, рухових ефектів, запаморочення тощо. У таких випадках біологічний організм не може швидко (або зовсім не може) справитися з такою ситуацією і вимагає зовнішнього втручання в процес діагностування небажаної ситуації та зовнішнього впливу на її зменшення чи усунення. Враховуючи багатопараметричність біологічного організму, його діагностування є складною задачею. Серед різноманітних методів діагностики такого організму є неінвазивні, котрі будуються, як правило, на принципах перенесення маси, енергії (теплової, ультразвукової, оптичної, електромагнітної тощо) та кількості руху.

Висновки

В основу роботи біологічного організму покладений принцип перенесення маси, енергії та кількості руху. Такі явища перенесення характеризуються наявністю джерела, звідки маса, енергія та кількість руху передаються в елементи біологічного організму, терплять відповідне перетворення (наприклад, маса в масу, маса в енергію, маса в кількість руху, теплова енергія в кількість руху, інфрачервона енергія в теплову тощо). Створена в зоні реологічного переходу нова маса, енергія чи кількість руху переносяться шляхом тепло-масоперенесення в біологічному організмі, створюючи таким чином стік маси, теплової енергії та кількості руху. Перетворення маси, енергії та кількості руху в біологічному організмі проходить за відповідними фізико-хімічними законами: теплопровідності Фур'є, масоперенесення Фіка, перенесення кількості руху Ньютона, до яких можна додати ще й закон кінетики хімічних реакцій Арреніуса. Указані закони побудовані для ідеальних випадків, коли джерела маси, енергії та кількості руху є безмежними в часі та просторі й не враховують принципів накопичення створеної маси, енергії та кількості руху. При перенесенні маси, енергії та кількості руху створюється зона реологічного перетворення (аналогічно пограничного шару в гідродинаміці), у котрій проходять відповідні фізико-хімічні перетворення. У результаті таких перетворень створюються нові параметри, як концентрації речовин, теплові ефекти, термо- і масодинамічні процеси, котрі якраз і характеризують роботу того чи іншого біологічного органу. Існуючі неінвазивні методи діагностики побудовані на визначенні вторинних показників, які є характерними для одноступеневого процесу перенесення: *джерело* → *стік*. Найбільш повну інформацію про стан здоров'я біологічного організму можна отримати за первинними показниками, якими характеризуються зони реологічних перетворень.

Література

- 1) Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987. – 502.
- 2) Рамм В.М. Абсорбционные процессы в химической промышленности. – М.: Госхимиздат, 1951. – 386 с.
- 3) Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. – М.: Химия, 1974. – 688 с.
- 4) Баррер Р. Диффузия в твердых телах. – М.: Издательство, 1948. – 504 с.
- 5) Астарида Дж. Массоперенос с химической реакцией. – М.: Химия, 1971. – 493 с.
- 6) Темпел Б. Хемосорбция. – М.: ИЛ, 1958. – 382 С.
- 7) Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Машгиз, 1962. – 368 с.
- 8) Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 599 с.
- 9) Лыков А.В. и Михайлов Ю.А. Теория тепло-и массопереноса. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 389с.
- 10) Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло-и массообмена. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 562 с.
- 11) Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. Пер. С франц. – М.: Мир, 1964, – 456 с.
- 12) Вайнберг А.М. Математическое моделирование процессов переноса. Решение нелинейных краевых задач. – Москва-Иерусалим, 2009. – 210 с.
- 13) Бояджиев Х, Бешков В. Массоперенос в движущихся пленках жидкости /Пер. с англ.- М. : Механика. – Вып. 43. – 1988. – 136 с.
- 14) Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высш.шк., 1962. – 416 с.
- 15) Гиршфельдер Дж., Кертис Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. Пер. С англ.- М.: Издат инлит, 1961. – 929 с.
- 16) Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Пер. С нем. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
- 17) Маделунг Э. Математический аппарат физики. Пер. С англ.. – М.: Физматгиз, 1968. – 618 с.
- 18) Самарский А.А., Михайлов В.П. Математическое моделирование. Нелинейные дифференциальные уравнения математической физики. - М.: «Наука», 1987. - 280 с.
- 19) Павлов С.В. Неінвазивні оптико-електронні прилади та системи діагностики мікроциркуляції периферійного кровообігу. Дис. на здоб. наук. ступеня докт. техн. наук. – Вінниця, 2008.- 349 с.
- 20) Павлов С.В, Кожем'яко В.П., Петрук В.Г., Колісник П.Ф. Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи: (Монографія) – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 254 с.
- 21) Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Станчук К.І. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень: (Монографія) /Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 203 с.
- 22) Шиян А.А., Злепко С.М., Павлов С.В., Хаїмзон І.І. Інформаційні технології для управління діяльністю людини. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 316 с.
- 23) Стенцель Й.І. Математичне моделювання хімічних процесів на основі теорії реологічних переходів. Вісник Східноук.нац університету. Науковий збірник. №5 (111), Ч.2.- 2007. – с.91-97.
- 24) Стенцель Й.І. Фотоколориметричні газоаналізатори. Монографія. – К.: ІСДО. 1995. – 126 с.

Відомості про авторів

Стенцель Йосип Іванович – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Павлов Сергій Володимирович - докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри загальної фізики та фотоніки Вінницького національного технічного університету. 21021, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95.

Злепко Сергій Макарович - докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри проектування медико-біологічної апаратури. 21021, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95.