

матичному застосуванні стимулю-
обливо, при зниженому тонусі ко-
но сиднофену є 1—1,5 мг/кг, індо-

сяця застосування сиднофену та
периментальному невроті з пере-
не стійкому відновленню умовно-
ції загальної поведінки собак.

х дозах (1—10 мг/кг), а індопан
викликає реакцію активації в ко-
фалічній ретикулярній формації

ну впливають переважно на кору
ликі дози діють на всі «поверхи»

ра

Лейбельман Ф. Я., Машков-

Ізду Укр. фізіол. т-ва. Тези доп., Львів,

Ізду Укр. фізіол. т-ва. Тези доп., Львів,

урн. высш. нервн. деят., 1966, 16, 4, 648.
отропных средств на нервную и гормо-

К.—Журн. невропат. и психиатр., 1963,

в. с шизофреничными картинами и шизо-

гр., 1967, 67, 1, 125.

ер. IV научн. конфер. физиол. биохим.

(—Журн. невропат. и психиатр., 1963,

кол., 1965, 28, 4, 394.

1961, 1, 25.

ature, 1961, 191, 1068.

Надійшла до редакції
11.XII 1972 р.

TS ON THE HIGHER NERVOUS WITH EXPERIMENTAL NEUROSIS

skaya

ervous Activity, Institute of Neurology
stry

у

organ and sydnofen was studied as applied
of conditioned reflexes and on the bio-
mations of the cat brain. Regularities in
re found, depending on the preparation,
functional state and peculiarities of the

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕЦЕПТИВНОЇ РЕЛАКСАЦІЇ

В. М. Ільїн, Л. В. Решодько, П. Г. Богач

Київський університет

УДК 57:(62—50+51995)612.73:51.001.57

Останнім часом для дослідження шлунково-кишкового тракту ста-
ли використовувати математичні і, зокрема, аналогові моделі [2, 3, 6].

Ми наводимо математичний опис відкритого Кенноном [4] явища
рецептивної релаксації, а також аналогову модель цього явища, реалізо-
вану на моделюючій установці МН-7.

Під час приймання їжі, розвитку харчової моторики шлунка пере-
дує специфічна зміна тиску в шлунку. Спочатку тонус знижується, тиск
у шлунку зменшується, а через деякий час, ще в процесі приймання
їжі, тиск у шлунку починає поступово підвищуватися. Згодом він дося-
гає вихідного рівня і може навіть перевищувати його. Після закінчення
приймання їжі відзначається різке підвищення тиску [1]. Описані зміни
тиску визначаються подразним впливом їжі на інтерорецептивні поля,
зокрема на пре- та інтрагастральне рецептивне поле [4].

Характер зміни тиску в порожнині шлунка під впливом акту їди,
як показують експериментальні фізіологічні дослідження, є функцією
часу і функцією просторової координати. При моделюванні необхідно кож-
ну змінну системи вважати залежною від часу і від усіх просторових ко-
ординат, тобто $U = f(x, y, z, t)$. Це приводить до рівнянь у часткових по-
хідних, аналіз яких пов'язаний з певними труднощами. Тому з метою
спрощення моделі, ми прийняли, що тиск в усіх точках порожнини шлун-
ка в кожний даний момент часу змінюється однаково. Таке припущення
дозволяє скористуватися звичайними диференціальними рівняннями.

Основні аксіоматичні положення, прийняті при побудові моделі:

1. Процес прийому їжі розглядається не як перервний процес (ков-
тання), а як неперервний. Це припущення базується на співвідношенні
часу одного ковтка і всього часу приймання їжі. В зв'язку з тим, що
останній час значно більше тривалості одного ковтка, то інтенсивність
нервового сигналу, який надходить з рецептивних полів за час між окре-
мими ковтками, не зміниться, або зміниться зовсім мало.

2. Інтенсивність нервового вхідного сигналу $U_{вх}$ з рецептивних полів
лінійно залежить від часу заповнення їх адекватними подразника-
ми — їжею, $U_{вх} \sim kt$. Після заповнення частини або всього рецептивного
поля їжею встановлюється деяке постійне значення U_0 . Величина U_0
залежить від параметрів харчового подразника, наприклад, смакових
якостей, фізичних властивостей їжі тощо.

3. Щоб уникнути неоднозначності, яка виникає при формалізації
поняття «смакові якості» їжі, в роботі прийнято, що величина постій-
ного значення U_0 залежить тільки від фізичних властивостей харчового
подразника. Нехай ця залежність має вигляд:

$$U_0 = be^{-\alpha}$$

де α — коефіцієнт, який відображає механічні властивості їжі (конси-
стенцію). Окремі значення цього коефіцієнта інтерпретуються сліду ючим

чином: α_1 — їжа, яка за консистенцією відповідає шматкам хліба, α_2 — їжа, яка відповідає розмоченому хлібу, α_3 — їжа, яка за консистенцією близька до манної каші, α_4 — рідина.

4. Геометрична модель шлунка є сферою.

Для кількості оцінки прегастрального і інтрагастрального рецептивних полів введені такі величини: $\tau_{\text{пр}}$ — час заповнення прегастрального рецептивного поля, $\tau_{\text{інтр}}$ — час заповнення інтрагастрального рецептивного поля.

Ці обидві величини залежать: 1) від ефективної площі рецептивних полів, чим більше $S_{\text{еф}}$, тим більше τ ; 2) від швидкості заповнення рецептивних полів, яка в свою чергу залежить від консистенції їжі (швидкість заповнення рідкою їжею більше швидкості заповнення твердою їжею); 3) від кількості прийнятої їжі.

$Q_{\text{мін}}$ — мінімальна порція їжі, яка за час $\tau_{\text{макс}}$ заповнює все рецептивне поле. Якщо кількість прийнятої їжі Q_1 більша $Q_{\text{мін}}$, то вона уже ніяк не впливає на $\tau_{\text{макс}}$, тому що все поле вже заповнене їжею. Якщо прийняти, що прегастральне рецептивне поле, займає всю ротову порожнину і стравохід, а інтрагастральне — всю внутрішню поверхню шлунка, то, очевидно, $\tau_{\text{пр макс}}$ дорівнює часу проходження їжі по ротовій порожнині і стравоходу. $\tau_{\text{інтр макс}}$ дорівнює часу заповнення їжею всього шлунка.

Інтенсивність нервового вхідного сигналу з рецептивних полів залежатиме від заповнення їх подразником і від фізичних властивостей подразника (коефіцієнт α). Зробивши припущення про лінійну залежність $U_{\text{вх}}$ від часу заповнення рецептивного поля, $U_{\text{вх}}$ одержимо

$$U_{\text{вх}} \sim kt, \quad 0 < t < \tau \leq \tau_{\text{макс}},$$

де τ — час заповнення рецептивного поля, k — коефіцієнт пропорційності. Після $t = \tau$, при $Q < Q_{\text{мін}}$ встановлюється деяке постійне значення U_0 , яке дорівнює

$$U_{\text{вх}} = k\tau = \text{const.}$$

При $Q \geq Q_{\text{мін}}$ після заповнення всього рецептивного поля за час $\tau_{\text{макс}}$ величина U стає рівною

$$U = U_0 = k\tau_{\text{макс}} = \text{const.}$$

Залежно від кількості прийнятої їжі можливі п'ять різних випадків, для кожного з яких величина і форма загального вхідного сигналу різні. Всі вони зображені на рис. 1. Для кожного випадку прийнято, що консистенція їжі і швидкість приймання її однакові. Четвертий і п'ятий випадки в роботі розглядатись не будуть, тому що внаслідок великої кількості їжі, яка введена в шлунок, не можна знехтувати деформацією шлунка (не виконується положення 4).

Розглянемо більш детально третій випадок:

Загальний вхідний сигнал дорівнює:

$$U_{\text{вх рез}} = U_{\text{вх пр}} + U_{\text{вх інтр}}.$$

Враховуючи, що $U_{\text{вх пр}}$ гальмує моторику шлунка, надамо йому від'ємний знак, а $U_{\text{вх інтр}}$ — додатний. Ділянку Oa потрібно інтерпретувати як заповнення прегастрального рецептивного поля їжею. По мірі заповнення росте гальмівний від'ємний сигнал. В момент часу $\tau_{\text{пр макс}}$ прегастральне поле повністю заповнене їжею, і встановлюється постійне значення $U_{0 \text{ пр}}$. В цей же момент часу їжа потрапляє в шлунок і заповнює деяку ділянку інтрагастрального поля. Виникає додатний сигнал, який росте на протязі всього часу приймання їжі — t_e . На рис. 1 це відповідає

ділянці $O'b''$. В момент часу $t_e + \tau_{\text{пр макс}}$ прегастральне поле повністю заповнене їжею (ділянка $b'C'$), а додатний інтра-сигнал — постійний

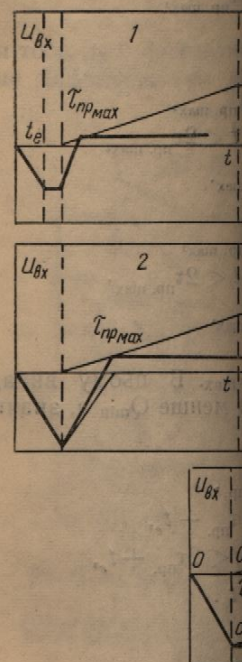


Рис. 1.

у «харчовий центр». Інтенсивність заповнення і сигнал загального поля, тобто від кількості їжі, яка введена в шлунок, величини $U_{\text{вх пр}}$ і $U_{\text{вх інтр}}$

$$U_{\text{вх пр}} = \begin{cases} -kt, \\ -k\tau_{\text{пр}}, \\ +kt, \\ 0, \end{cases}$$

$$U_{\text{вх інтр}} = \begin{cases} 0, \\ at, \\ at, \end{cases}$$

$$U_{\text{вх рез}} = \begin{cases} -kt, \\ -k\tau_{\text{пр}} + at, \\ at - k\tau_{\text{пр}}, \\ at - k\tau_{\text{пр}}, \end{cases}$$

ю відповідає шматкам хліба, їбу, a_3 — їжа, яка за консистенцією.

о і інтрагастрального рецептив-
час заповнення прегастрального
ня інтрагастрального рецептив-

ефективної площі рецептивних
від швидкості заповнення ре-
ить від консистенції їжі (швид-
швидкості заповнення твердою

а час $\tau_{\max}$ заповнює все рец-
кі Q_i більша $Q_{\min}$, то вона уже
ле вже заповнене їжею. Якщо
поле, займає всю ротову порож-
сю внутрішню поверхню шлун-
проходження їжі по ротовій по-
е часу заповнення їжею всього

налу з рецептивних полів зале-
від фізичних властивостей под-
ушення про лінійну залежність
ля, U_{bx} одержимо

$k \leq \tau_{\max}$

k — коефіцієнт пропорційності.
деяке постійне значення U_0 , яке
const.

рецептивного поля за час $\tau_{\max}$

$= \text{const.}$

ктиві п'ять різних випадків, для
ного вхідного сигналу різні. Всі
ипадку прийнято, що консистен-
ові. Четвертий і п'ятий випадки
що внаслідок великої кількості
нехтувати деформацією шлунка

ипадок:

$U_{bx \text{ інтр.}}$

ку шлунка, надамо йому від'єм-
у Q_0 потрібно інтерпретувати як
о поля їжею. По мірі заповнен-
В момент часу $\tau_{\text{пр. max}}$ прега-
і встановлюється постійне зна-
попадає в шлунок і заповнює
Виникає додатний сигнал, який
їжі — t_e . На рис. 1 це відповідає

ділянці $O'b''$. В момент часу t_e надходження їжі закінчується, звільняється прегастральне рецептивне поле. Від'ємний сигнал зменшується (ділянка $b'C'$), а додатний інтра-сигнал продовжує рости (ділянка $b''C$). В момент часу $t_e + \tau_{\text{пр. max}}$ від'ємний пре-сигнал дорівнює 0, а додатний інтра-сигнал — постійній величині (ділянка CD). Результат надходить

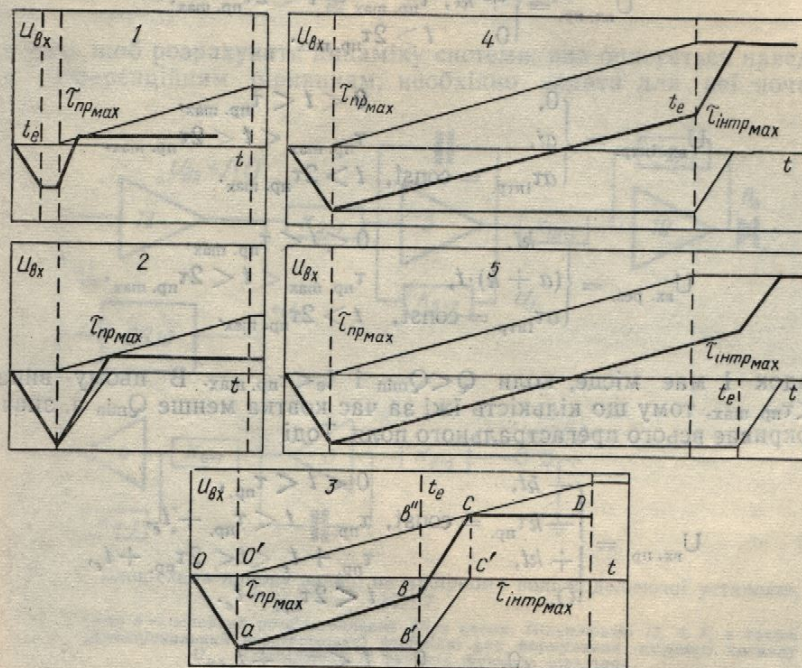


Рис. 1. Форма загального вхідного сигналу.

у «харчовий центр». Інтенсивність встановленого сигналу залежить від ступеня заповнення і сили подразнення інтрагастрального рецептивного поля, тобто від кількості прийнятої їжі і від її консистенції.

Величини $U_{bx \text{ пр.}}$ і $U_{bx \text{ інтр.}}$ матимуть такий вигляд:

$$U_{bx \text{ пр.}} = \begin{cases} -kt, & 0 < t < \tau_{\text{пр. max}}, \\ -k\tau_{\text{пр. max}} = U_{\text{пр. max}} = \text{const}, & \tau_{\text{пр. max}} < t < t_e, \\ +kt, & t_e < t < t_e + \tau_{\text{пр. max}}, \\ 0, & t > t_e + \tau_{\text{пр. max}} \end{cases}$$

$$U_{bx \text{ інтр.}} = \begin{cases} 0, & 0 < t < \tau_{\text{пр. max}}, \\ at, & \tau_{\text{пр. max}} < t < t_e + \tau_{\text{пр. max}}, \\ at_{\text{інтр.}} = \text{const}, & t > t_e + \tau_{\text{пр. max}} \end{cases}$$

$$U_{bx \text{ рез.}} = \begin{cases} -kt, & 0 < t < \tau_{\text{пр. max}}, \\ at - k\tau_{\text{пр. max}}, & \tau_{\text{пр. max}} < t < t_e, \\ (a + k) \cdot t, & t_e < t < t_e + \tau_{\text{пр. max}}, \\ at_{\text{інтр.}} = U_0 = \text{const}, & t > t_{\text{інтр.}} \end{cases}$$

аналогічний щойно розглянутому. ут час приймання їжі рівний часу ого поля.

$$t < \tau_{\text{пр. max}} = t_c$$

$$\tau_{\text{пр. max}} < t < 2\tau_{\text{пр. max}}$$

$$2\tau_{\text{пр. max}}$$

$$0 < t < \tau_{\text{пр. max}}$$

$$\tau_{\text{пр. max}} < t < 2\tau_{\text{пр. max}}$$

$$t > 2\tau_{\text{пр. max}}$$

$$0 < t < \tau_{\text{пр. max}}$$

$$\tau_{\text{пр. max}} < t < 2\tau_{\text{пр. max}}$$

$$t > 2\tau_{\text{пр. max}}$$

і $t_e < \tau_{\text{пр. max}}$. В цьому випадку час ковтка менше Q_{min} а, значить, ля. Тоді

$$0 < t < \tau_{\text{пр.}}$$

$$\tau_{\text{пр.}} < t < \tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$\tau_{\text{пр.}} + t_e < t < 2\tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$t < 2\tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$t < \tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$+ t_e < t < 2\tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$2\tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$0 < t < \tau_{\text{пр.}}$$

$$\tau_{\text{пр.}} < t < \tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$\tau_{\text{пр.}} + t_e < t < 2\tau_{\text{пр.}} + t_e$$

$$t > 2\tau_{\text{пр.}} + t_e$$

оду.

ж в усіх ділянках порожнини шлунку міну тиску в окремій локальній дієрєдині шлунка в даній точці рівно сигналу, що надходить від «хар- $_{1+\Delta t}$ стане рівним $P_1 + \Delta P$, тобто P .

я зміною інтенсивності нервового мі існує від'ємний зворотний зв'я- на тиску проходить з швидкістю, можна записати:

$$k_2 U_{\text{вх.}}(t) \Delta t$$

Поділивши це рівняння на Δt і спрямувавши його до нуля, одержимо:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta t} + k_1 P = k_2 U_{\text{вх.}}(t),$$

$$\frac{dP}{dt} + k_1 P = k_2 U_{\text{вх.}}(t)$$

Для того, щоб розрахувати динаміку системи, яка описується наведеним вище диференціальним рівнянням, необхідно задати для неї початкові

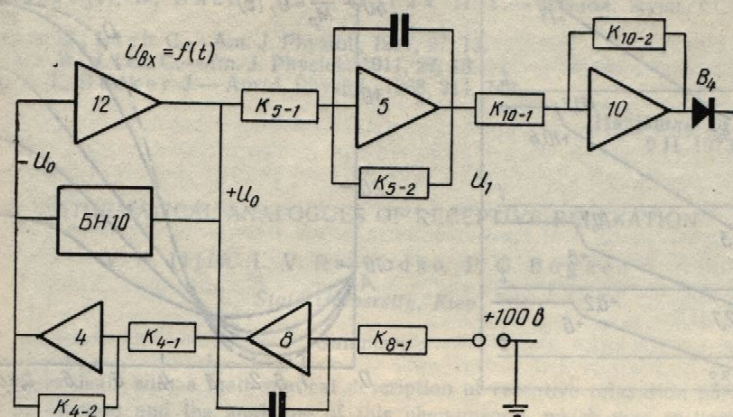


Рис. 2. Блок-схема набору задачі на набірному полі моделюючої установки МН-7.

Підсилювач 5 — основний розв'язувальний блок схеми. Підсилювачі 12, 4, 8; а також БН-10 (функціональний перетворювач) необхідні для формування вхідного сигналу $U_{\text{вх.}}$. Підсилювач 10 виконує функцію інвертора.

умови. При вивченні перехідних процесів, як правило, приймають, що на початку такого інтервалу $t=0$. Тоді рівняння

$$\frac{dP}{dt} + k_1 P = k_2 U_{\text{вх.}}(t)$$

розв'язується при таких початкових умовах. Під час роботи шлунка:

$$P = P_0 - P_{\text{атм}},$$

під час спокою шлунка

$$P_0 = P_{\text{атм}}, P = 0, U_{\text{вх.}} = 0, t = 0.$$

На моделі проведено дослідження розв'язання одержаного вище рівняння. Рівняння реалізоване на електронній моделюючій установці МН-7 (рис. 2). Застосування аналогової обчислювальної машини МН-7 автоматизувало знаходження коефіцієнтів рівняння, при яких серія модельних кривих найкраще співпадала б з експериментальними кривими, одержаними для різних подразників. Вхідний сигнал з рецепторних полів формувався на функціональному перетворювачі БН-10 (рис. 3). Результати моделювання наведені на рис. 4. Метод знаходження потрібного розв'язання полягає у підборі вхідного сигналу, який давав би таку ж криву зміни тиску в моделі, як у реальному шлунку.

Коефіцієнт передачі k_1 і k_2 виявляли за допомогою потенціометрів K_{5-2} і K_{5-1} . Масштаб часу встановлювався за допомогою часу розгортки осцилографа і горизонтального підсилення. Масштаби P і $U_{\text{вх}}$ — з допомогою вертикального підсилення. При сумісному підборі всіх цих величин були одержані модельні криві зміни тиску в шлунку.

В роботі було розглянуто моделювання таких ситуацій: годування їжею, за консистенцією близькою до хліба в шматках, годування їжею,

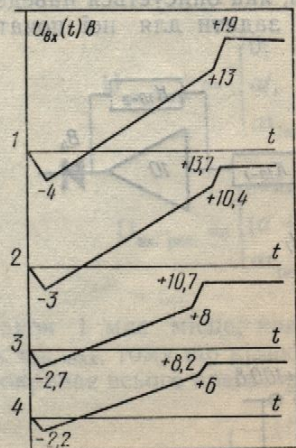


Рис. 3. Характер зміни $U_{\text{вх}}$.

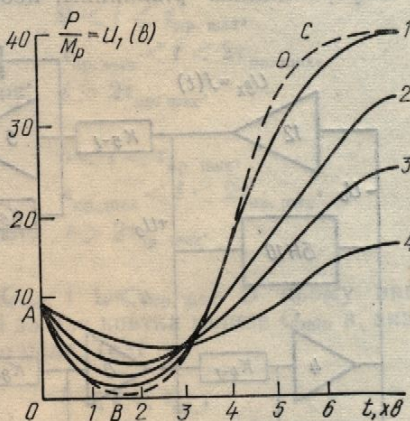


Рис. 4. Результати дослідження аналогової моделі.

O — експериментальна крива 1, 2, 3, 4 — теоретичні криві, одержані для вхідних сигналів, зображених на рис. 3.

за консистенцією близькою до гречаної каші, годування їжею, за консистенцією близькою до манної каші та для випадку дуже сильного механічного подразнення рецепторних полів. Для всіх цих випадків тривалість годування

$$t_e > \tau_{\text{пр. max}}, t_e = \tau_{\text{пр. max}}, \tau_{\text{пр.}} < \tau_{\text{пр. max}}.$$

На рис. 4 представлено експериментальну (O) і розраховані на моделі криві зміни тиску в середині шлунка під час приймання їжі. Вихідні експериментальні дані: час годування 5—6 хв, тиск у шлунку собаки до початку годування 2—3 см вод. ст., після закінчення годування — 13—14 см вод. ст. Він приймається приблизно 10—15 хв, а потім знижується до 8 см вод. ст. (на графіку ця фаза падіння тиску не показана). Ділянка АВ — зменшення тиску в результаті подразнення їжею прегастрального рецептивного поля (1,5—2 хв). Ділянка ВС — збільшення тиску в результаті подразнення їжею інтрагастрального рецептивного поля. Годування проводилось їжею, за консистенцією близькою до хліба в шматках.

На закінчення слід відзначити, що повних експериментальних фізіологічних даних для зіставлення їх з проведеними вище теоретичними розрахунками на моделі поки ще нема. Тому є певна необхідність у проведенні таких фізіологічних досліджень. Ці дослідження дозволили б підтвердити або спростувати покладені в основу моделі такі аксіоматичні твердження.

1. Характер сигналу ходить з рецепторних полів до саному вище лінійному з
2. Між вхідним нервом і рецепторним полем має місце лінійна зв'язь

1. Богач П. Г., Гройсман В. Н., Решодько Л. В., Ільїн В. М., 1972, 7.
2. Ільїн В. Н., Решодько Л. В., Ільїн В. М., 1972, 7.
3. Решодько Л. В., Ільїн В. М., 1972, 7.
4. Cannon W., Lieb C.—A, 1929, 5.
5. Cannon W., Lieb C.—A, 1929, 5.
6. Nelsen T., Becker J.—A, 1929, 5.

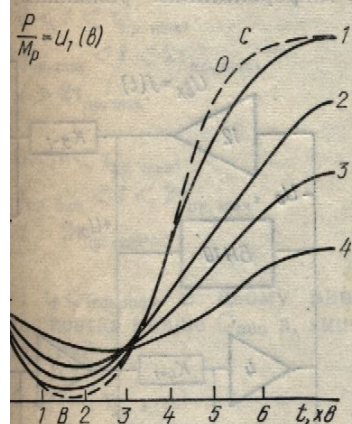
MATHEMATICAL

V. N. Iljin

The paper deals with a model of the digestive system described by Kennon and the model installation MN-7. The results of the research on the model during the food

или за допомогою потенціометрів
вся за допомогою часу розгортки
ння. Масштаби P і $U_{\text{вх}}$ — з до-
сумісному підборі всіх цих вели-
и тиску в шлунку.

вання таких ситуацій: годування
ліба в шматках, годування їжею,



4. Результати дослідження аналого-
вої моделі.

експериментальна крива 1, 2, 3, 4 — теоре-
тичні криві, одержані для входних сигналів,
зображених на рис. 3.

каші, годування їжею, за конси-
дентного випадку дуже сильного меха-
нізму. Для всіх цих випадків тривалість

$$t_{\text{max}}' < t_{\text{пр. max}}$$

анальну (0) і розраховані на мо-
ка під час приймання їжі. Вихід-
ня 5—6 хв, тиск у шлунку собаки
с, після закінчення годування —
близько 10—15 хв, а потім знижу-
фаза падіння тиску не показана).
ультаті подразнення їжею прега-
хв). Ділянка ВС — збільшення
інтрагастрального рецептивного
консистенцією близькою до хлі-

повних експериментальних фізіо-
проведеними вище теоретичними.
Тому є певна необхідність у про-
нь. Ці дослідження дозволили б
в основу моделі такі аксіоматич-

1. Характер сигналу еферентного нервового сигналу $U_{\text{вх}}$, який над-
ходить з рецепторних полів у «харчовий центр» дійсно змінюється по опи-
саному вище лінійному закону.

2. Між входним нервовим сигналом і часом заповнення рецепторно-
го поля має місце лінійна залежність.

Література

1. Богач П. Г., Гройсман С. Д. — Вопросы питания, 1959, 12, 56.
2. Ильин В. Н., Решодько Л. В. — В сб.: Тез. докл. XXI Укр. научно-технич. конфер., К., 1972, 7.
3. Решодько Л. В., Ильин В. Н., Богач П. Г. — Физиол. журн. СССР, 1973, LIX, 5.
4. Cannon W., Lieb C. — Am. J. Physiol., 1917, 27, 13.
5. Cannon W., Lieb C. — Am. J. Physiol., 1911, 27, 13.
6. Nelsen T., Becker J. — Am. J. Physiol., 1968, 214, 749.

Надійшла до редакції
9.II 1973 р.

MATHEMATICAL ANALOGUES OF RECEPTIVE RELAXATION

V. N. Iljin, L. V. Reshodko, P. G. Bogach

State University, Kiev

Summary

The paper deals with a mathematical description of receptive relaxation phenomenon described by Kennon and the analogue of this phenomenon, which was realized on the model installation MN-7. The curves of pressure change in the stomach cavity obtained on the model during the food intake coincide with the similar experimental curves.