

4. Реферат по «Исследованию полезных ископаемых на обогатимость» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/.../klochko/library/tez4.htm>.
5. Электропроводность угля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/.../20334/электропроводность>.
6. Пааш, Г. Поверхности твердых тел. [Текст] / Г. Пааш, М. Хитшольд // Достижения электронной теории металлов. - М.: Мир, 1984. - С. 466-540.
7. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М: Гостехтеориздат, 1957.
8. Капранов, В. В. Твердение вяжущих веществ и изделий на их основе [Текст] / В.В. Капранов. - Челябинск: Главжуралстрой, 1976. – 191 с.
9. Плугин, А. Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них. Теория твердения портландцемента. Том 2. [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз. – Киев: Наукова думка, 2012. – 225 с.
10. Дамаскин, Б. Б. Основы теоретической электрохимии [Текст] / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий. - М.: Высшая школа, 1978. - 239 с.
11. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии [Текст] / Д.А. Фридрихсберг. - Л.: Химия, 1974. - 352 с.

**Abstract**

*The article presents theoretical study of structure formation of coke dust in cement composites with the introduction of fine-grained particles on the basis of the fundamental propositions of colloid chemistry and physicochemical mechanics of disperse systems. According to optical microscopy and magnification of fragments of characteristic structure we defined geometric properties and the nature of the microstructure of the structural elements of coal, coke and coke dust particles. It was shown that the microstructure of coke during its manufacturing does not change and corresponds exactly to the microstructure of coal. It was determined that the interaction of coke particles with elements of the structure of cement stone is carried out under the influence of their main components - a mixed coal electroconductivity and surface electrical properties. The article represents the theory of influence of coke dust on the processes of structure formation of cement stone, mortar and concrete. It was determined that during the hardening of cement stone the particles of coke dust will adagulate to the surface of grain filler.*

**Keywords:** coke dust, electroconductivity, surface electrical properties, cement stone, concrete

УДК 537. 868

## НИЗКОИНТЕНСИВНЫЕ МИКРОВОЛНЫ ИЗМЕНЯЮТ СКОРОСТЬ ВСТРЕЧНОГО ПЕРЕНОСА ИОНОВ ЧЕРЕЗ БИОМЕМБРАНЫ

**Б. Г. Емец**

Доктор физико-математических наук, профессор  
Кафедра молекулярной и медицинской биофизики  
Харьковский национальный университет имени В.Н.

Каразина  
пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина, 61022  
Контактный тел.: (057) 707-55-76  
E-mail: Boris.G.Yemets@univer.kharkov.ua

Показано, що низькоінтенсивне мікрохвильове опромінювання впливає на еритроцити, зменшуючи ефективну товщину шару води, що прилягає до мембрани еритроцита. Зменшення товщини шару призводить до підвищення швидкості переносу іонів крізь еритроцитарну мембрану

Ключові слова: мікрохвилі, еритроцити, примембранний водний шар

Показано, что низкоинтенсивное микроволновое облучение влияет на эритроциты, уменьшая эффективную толщину слоя воды, примыкающего к мембране эритроцита. Уменьшение толщины слоя приводит к повышению скорости переноса ионов через эритроцитарную мембрану

Ключевые слова: микроволны, эритроциты, примембранный водный слой

**1. Введение. Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами.**

Одним из следствий научно-технического прогресса явилось существенное увеличение на нашей планете плотности распределения устройств, излучающих радиоволны (теле- и радиостанции, генераторы электромагнитных полей для промышленного применения и т. п.). Хотя техногенный электромагнитный фон имеет низкую интенсивность, он, безусловно, оказывает воздействие на окружающую природу. Актуальным поэтому представляется исследование биологического влияния небольших, так называемых атермических, интенсивностей на клетки крови, в частности, на эритроциты. (Принято считать атермическим уровнем интенсивности электромагнитного поля такое ее значение, при котором облучение не превышает температуры образца более чем на 0,1 °С). Цель настоящей работы состоит в выяснении того, дают ли «ответ» эритроциты на воздействие микроволн атермической интенсивности, а также в определении последовательности событий, происходящих в промежутке между попаданием электромагнитной волны на биосреду и формированием биологического ответа.

**2. Исследуемые материалы, применяемый экспериментальный метод**

В настоящей работе исследовали эритроциты донорской крови человека. Контролируемым параметром, по которому определяли уровень биологического ответа на воздействие микроволн, являлась скорость встречного переноса ионов хлора (Cl<sup>-</sup>) и гидроксидов (OH<sup>-</sup>) через эритроцитарную мембрану. Встречный транспорт ионов реализуется при помещении эритроцитов в незабуференную изотоническую среду с пониженной концентрацией ионов хлора. При этом происходит выход из эритроцитов некоторого количества указанных ионов через плазматическую мембрану; взамен для поддержания электрического равновесия в клетках в эритроциты входят ионы гидроксидов. При этом понижается рН межклеточной среды, а поскольку в среде отсутствует буфер, то изменение концентрации ионов OH<sup>-</sup> в точности соответствует изменению концентрации ионов Cl<sup>-</sup>. Концентрацию ионов в растворах удобно измерять с помощью иономеров - приборов, использующих электродную технику [1]. Измеряя рН среды водородным электродом иономера, определяем количество покинувших эритроциты ионов хлора. Эксперимент выполнялся следующим образом. Эритроциты донорской крови человека тщательно отмывались в стандартном физиологическом растворе (0,85% NaCl); поэтому они, как и в обычной крови, содержали ионы Cl<sup>-</sup>. С помощью центрифугирования формировалась эритромаасса, которая содержалась при температуре тающего льда. Отбирался фиксированный объем эритромаassy (0,02 см<sup>3</sup>) и вводился в перемешиваемую измерительную ячейку иономера (типа ЭВ-74), в которой находилось 5 см<sup>3</sup> водного раствора сахарозы (0,29 моля) – незабуференной сре-

ды. Согласно вышеизложенному, путем измерения концентрации ионов водорода (величины рН среды) водородным электродом иономера (мы использовали промышленный электрод типа ЭСЛ-43-07) определялось количество покинувших эритроциты ионов хлора. Кинетику изменения рН среды регистрировали с помощью персонального компьютера. Типичная кривая приведена на рис. 1.

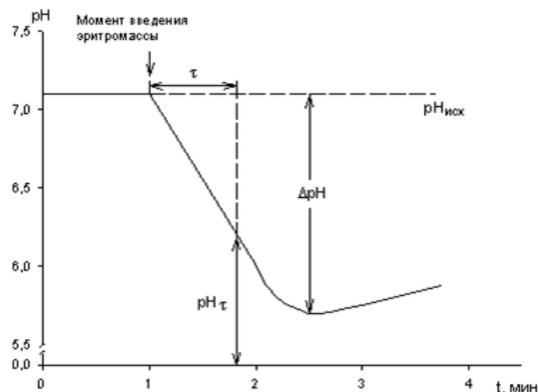


Рис. 1. Изменение рН среды после введения эритроцитарной массы

Сразу же после введения эритромаassy в раствор сахарозы в среде резко уменьшается рН; его значение проходит через минимум, после чего закисление среды сменяется обратным защелачиванием. (Причины появления минимума подробно рассмотрены в [2,3].)

Начальную скорость закисления можно определить, измеряя время τ, за которое происходит закисление на величину (1 - e<sup>-1</sup>) от полной амплитуды ΔрН, т. е. за время, в течение которого значение рН уменьшается от стартового значения рН<sub>исх</sub> до величины рН<sub>τ</sub> = рН<sub>исх</sub> - ΔрН (1 - e<sup>-1</sup>). Очевидно, полученная скорость спадания рН позволяет определить суммарный (от всех эритроцитов, содержащихся в ячейке) поток J ионов Cl<sup>-</sup>, обменивающихся на суммарный поток ионов OH<sup>-</sup>:

$$J = j S. \tag{1}$$

Здесь S – суммарная поверхность мембран всех эритроцитов, содержащихся в измерительной ячейке, а j – поверхностная плотность потока вещества в направлении x с градиентом концентрации вдоль этого направления dc / dx :

$$j = - D dc / dx,$$

где D – коэффициент диффузии (закон Фика). В случае, если стационарный транспорт идет через тонкую мембрану, то производную dc/dx можно заменить конечной разностью концентраций, отнесенной к толщине мембраны L. Тогда

$$j = - D Δc / L = P (c_1 - c_II) . \tag{2}$$

Здесь введена проницаемость мембраны для диффундирующего вещества P = D/L и конкретизированы концентрации вещества: слева от мембраны - c<sub>1</sub> (отсек

I) и справа от мембраны -  $c_{II}$  (отсек II). В реальной ситуации к мембране всегда примыкает примембранный слой воды, который остается абсолютно неподвижным даже при наличии сильного конвективного движения вблизи него. Перенос вещества через этот слой осуществляется, исключительно, диффузионным путем, поэтому его принято называть примембранным перемешиваемым диффузионным водным слоем.

Учтя вышеизложенное, рассмотрим, следуя [4], более подробно перемещение вещества А (ионов) из отсека (I) с постоянной концентрацией  $c_I$  в раствор по другую сторону мембраны (отсек (II)). Очевидно, что молекулы вещества А должны преодолеть последовательно три диффузионных барьера: первый (по ходу) примембранный слой воды толщиной  $\delta_1$  (плотность потока  $j_{IM}$ ), собственно саму мембрану толщиной  $L$  (плотность потока  $j_M$ ) и второй примембранный слой воды толщиной  $\delta_2$  (плотность потока  $j_{MI}$ ).

Согласно закону Фика (2) соответствующие плотности потоков записываются в виде

$$\begin{aligned} j_{IM} &= P_{IM} (c_I - c_{IM}); j_M = P_M (c_{IM} - c_{MI}); \\ j_{MI} &= P_{MI} (c_{MI} - c_{II}). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $P_{IM}$ ,  $P_M$ ,  $P_{MI}$  – проницаемости соответствующих барьеров;  $c_{IM}$  и  $c_{MI}$  – концентрации на противоположных сторонах мембраны. В стационарном состоянии плотности всех потоков равны:  $j_{IM} = j_M = j_{MI} = j$ . Так как, согласно (2),  $c_I - c_{II} = j / P$ , где  $P$  – проницаемость системы в целом, то

$$P^{-1} = P_{IM}^{-1} + P_M^{-1} + P_{MI}^{-1}. \quad (4)$$

Величину  $P^{-1}$  можно назвать «сопротивлением» потоку вещества. Отметим, что сопротивления потоку примембранных перемешиваемых слоев пропорциональны толщинам этих слоев. Действительно, согласно определению проницаемости (2):

$$P_{IM}^{-1} + P_{MI}^{-1} = (\delta_1 + \delta_2) / D_w,$$

где  $D_w$  – коэффициент диффузии молекул вещества А в воде.

Если принять приближение, что толщины этих примембранных слоев одинаковы, т. е.  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_D$ , имеем

$$P_{IM}^{-1} + P_{MI}^{-1} = 2 \delta_D / D_w. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3) с учетом того, что  $j_M = P_M (c_{IM} - c_{MI}) = D_m L^{-1} (c_{IM} - c_{MI})$ , т.е.  $P_M = D_m L^{-1}$ , получаем выражение для толщины диффузионного примембранного слоя

$$\delta_D = 0,5 D_w (P^{-1} - L / D_m). \quad (6)$$

Здесь  $D_m$  – коэффициент диффузии молекул вещества через липидный бислой мембраны толщиной  $L$ . Имея информацию о параметрах  $D_w$ ,  $D_m$ ,  $P$  и  $L$ , в принципе, можно определить толщину примембранного слоя  $\delta_D$ . Однако, поскольку в эксперименте мы измеряем поверхностную плотность потока через все эритроцитарные мембраны в ячейке ( $J = j S$ ), а данными о численном значении суммарной поверхности

$S$  мы не располагаем, то определить величину  $\delta_D$  не представляется возможным.

Тем не менее, если при выполнении каждого измерения  $J$  обеспечивать идентичные условия (включая одинаковую скорость перемешивания жидкости в ячейке), то можно определить отношение толщины диффузионного примембранного слоя эритроцитов, не подвергавшихся облучению ( $\delta_D(0)$ ), к толщине указанного слоя эритроцитов, подвергнутых облучению низкоинтенсивными ЭМ волнами ( $\delta_D(*)$ ). Действительно, мы вправе считать, что в ходе облучения суммарная поверхность мембран эритроцитов сохраняется без изменений (в силу низкой интенсивности облучающих волн), т. е.  $S(0) = S(*)$ . Тогда, используя уравнения (1) и (2), можно записать

$$\begin{aligned} J(*) / J(0) &= j(*) / j(0) = [D(*) / \delta_D(*)] : [D(0) / \delta_D(0)] = \\ &= [D(*) / D(0)] \times [\delta_D(0) / \delta_D(*)]. \end{aligned} \quad (7)$$

### 3. Результаты и обсуждение

Мы выполнили соответствующие измерения. Измерительная ячейка иономера термостатировалась при температуре 20 °С. Облучение эритромазсы (находящейся при температуре тающего льда) производилось микроволнами от генератора типа Г4-141 ( $\lambda = 8$  мм; мощность на выходе 4 мВт) с помощью диэлектрического (тефлонового) волновода.

Исследовались эритроциты (19 образцов от 19 здоровых доноров), предоставленные Станцией переливания крови. Измерения показали, что, хотя индивидуальные значения обменных потоков  $J$  (т. е. встречного транспорта – ионов  $Cl^-/OH^-$ ) у образцов, полученных от разных доноров различались в определенных пределах, тем не менее, во всех без исключения образцах потоки через облученные клетки превышали потоки через необлученные клетки. Получено, что в результате 30-минутного облучения отношение величин потоков, усредненных по девятнадцати донорам равно

$$J(*) / J(0) = 1,22 \pm 0,06. \quad (8)$$

Следовательно, согласно (7),

$$D(*) / D(0) \times \delta_D(0) / \delta_D(*) = 1,22. \quad (9)$$

В полученное соотношение входят и коэффициент диффузии и толщина диффузионного слоя. У нас нет видимых оснований считать, что в ходе низкоинтенсивного ЭМ облучения изменилось значение коэффициента диффузии. Тогда, положив  $D(0) = D(*)$  в (9), имеем  $\delta_D(*) = 0,82 \delta_D(0)$ , т. е. оказывается, что толщина диффузионного пограничного слоя уменьшилась, благодаря низкоинтенсивному ЭМ облучению, в  $(1,22 \pm 0,06)$  раза.

Итак, нами получено, что в результате НИ ЭМ облучения примембранный диффузионный водный слой становится тоньше и для диффузии молекул воды и для диффузии ионов (хлора и гидроксила). Это дает основание утверждать, что уменьшение толщины указанного слоя приводит также к ускорению переноса и других веществ, например, газовых молекул (кислорода, углекислого газа и т. д.) через мембрану эритро-

цита. Следует ожидать, что в живом организме при облучении крови НИ ЭМ волнами (или сразу после прекращения облучения) в единицу времени каждое красное кровяное тельце (эритроцит) будет успевать насыщаться, например, кислородом, в большей мере, чем в случае, когда такое облучение не производится (т.е. когда толщина примембранного диффузионного слоя сохраняется равной исходной).

Перенос током крови таких (более насыщенных кислородом) эритроцитов к тканям живого организма улучшает снабжение этих тканей кислородом. Усиление процессов газообмена в тканях может, принципе, при определенных патологиях, обусловить лечебный эффект. В пользу сказанного свидетельствуют положительные отзывы лечащих врачей, успешно применяющих внутривенное вливание пациентам их собственной крови (аутокрови), предварительно облученной низкоинтенсивными микроволнами [5].

Естественно, возникает вопрос о физическом механизме, благодаря которому электромагнитная энергия СВЧ излучения обеспечивает появление биологического ответа. Прежде всего, заметим, что согласно [4], толщина диффузионного примембранного слоя на несколько порядков больше толщины липидного слоя мембраны. Это означает, что практически все время, затрачиваемое молекулами (ионами) на диффузионное движение в клетку (или из клетки), уходит на преодоление примембранного водного слоя. Электромагнитные волны способны уменьшению эффективной толщины указанного слоя. В этом процессе участвуют воздушные пузырьки. Хорошо известно, что в биологической жидкости содержится растворенный воздух и воздух в пузырьках. Например, при 20 °C объемная доля «пузырькового» воздуха в воде составляет  $V_F = 5,8 \times 10^{-8}$ ; средний радиус пузырьков  $R_{cp} \approx 20$  нанометров [6]. Пузырьки, находящиеся в биоткани, конечно, присутствуют и в диффузионном примембранном водном слое. Пузырьки перемещаются в поле силы тяжести (на них действует сила Архимеда; скорость движения конкретного пузырька в поле тяжести

пропорциональна квадрату его радиуса) и в поле температурного градиента (реализуется т. н. термокапиллярный эффект; в этом поле скорость перемещения пузырька пропорциональна радиусу в первой степени) [7]. Двигаясь в примембранном диффузионном слое, пузырьки играют роль своеобразных «перемешивателей». В неоднородном электрическом поле СВЧ волны, распространяющейся в жидкости, на воздушный пузырек действует т.н. градиентная сила, пропорциональная разности между диэлектрической проницаемостью жидкости (воды)  $\epsilon_w$ , в которой он взвешен, и диэлектрической проницаемостью газа (воздуха), заполняющего пузырек  $\epsilon_g$  [8]. Благодаря действию указанной силы, воздушные пузырьки, оказавшись в поле электромагнитной волны, увеличиваются в размерах. Поскольку скорость перемещения пузырька большего радиуса в температурном и в гравитационном полях выше, чем скорость пузырька, обладающего меньшим радиусом, то выросшие пузырьки движутся в примембранном водном слое быстрее. Из-за этого реализуется более активное перемешивание указанного слоя; «эффективная толщина» его становится меньше, чем была до облучения волнами СВЧ. Понятно, что и процесс переноса ионов в клетку (и из клетки) и другие процессы обмена веществ в системе «клетка - межклеточная среда» идут быстрее. Очевидно, благодаря низкоинтенсивному микроволновому облучению эффективная проницаемость системы «клеточная мембрана плюс примембранный водный слой» увеличивается.

#### 4. Выводы

1. Микроволны атермического уровня интенсивности увеличивают скорость встречного переноса ионов через эритроцитарные мембраны.
2. Увеличение скорости встречного переноса ионов обусловлено уменьшением «эффективной» толщины примембранного диффузионного водного водного слоя.

#### Литература

1. Камман, С. Работа с ион-селективными электродами [Текст] / Камман С. – Москва: Мир, 1982. – 203 с.
2. MacCey, R. L. Membrane red cell potential defined by distribution ion  $H^+$  [Текст] / MacCey R. L., Adorante G. S., Orme W.F. // *Biophys. Et Biochim. Acta.* – 1978. – V. 512, No 2, P. 284-295.
3. Путвинский, А.В. Электрический пробой мембран эритроцитов за счет диффузионной разности потенциалов [Текст] / Путвинский А.В., Попов С.А., Пучкова Т.В., Данилов Ю.А., Владимиров Ю.А. // *Биофизика.* – 1983. – Т. 28, № 3. – С. 505-506.
4. Котык, А. Мембранный транспорт [Текст] / Котык А., Яначек К. – Москва: Мир, 1980. – 341 с.
5. Белоус, О.И. Роль КВЧ излучения в повышении биологической активности крови [Текст] / Белоус О.И. Малахов В.А., Носатов А.В. и др. // *Радиофизика и электроника.* – 2008, № 3. – С. 556-561.
6. Емец, Б.Г. К оценке усредненных параметров стабильных пузырьков, содержащихся в воде [Текст] / Емец Б.Г. // *Доповіді НАН України.* – 1998. - № 5. – С. 75-78.
7. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика [Текст] / Левич В. Г. - Москва: Физматгиз, 1959. – 699 с.
8. Тамм И. Е. Основы теории электричества. [Текст] / Тамм И. Е. - Москва: Наука, 1976. - 616 с.

#### Abstract

*There is a research of the effect of low-intensity (less than 10 mW/sm<sup>2</sup>) electromagnetic microwaves ( $\lambda = 8$  mm) on the speed of the oncoming transfer of chloride and hydroxyl ions through membranes of red blood cells - erythrocytes. The oncoming ion transfer takes place when red blood cells are put in non- buffer isotonic medium with reduced chloride ions concentration. The research was conducted using an ionometer by measuring the pH of the*

medium with hydrogen electrode. It was found that the microwave irradiation for half an hour increases the speed of oncoming transmembrane ion transfer in 1.22 times. This is the effect of the microwaves' reduction of the "effective" thickness of the membrane boundary diffusion water layer. The "effective" thickness is reduced due to the "loosen" action of air bubbles, which are localized in the membrane boundary water layer. The speed of the air bubble in the gravitational field and in the temperature gradient field depends on the radius (it increases with the increase of radius). The microwave irradiation promotes the increase of bubbles' size. This fact makes bubbles move more actively, strengthening the process of mixing of membrane boundary water layer. The result is a "loosening" of the layer, which leads to the reduction of the "effective" thickness. The process of ion transfer through the thinner layer of water runs faster, which was registered experimentally.

**Keywords:** microwaves, red blood cells (erythrocytes), membrane boundary water layer

УДК 669.15:669.14.256

## ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ Й УДАРНО-АБРАЗИВНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ 110Г13Л ЗА РАХУНОК ОТРИМАННЯ МЕТАСТАБІЛЬНОГО АУСТЕНІТУ

*В роботі показана ефективність застосування диференційного підходу до вибору режимів термічної обробки сталі 110Г13Л, що дозволяють значно підвищити її зносостійкість в різних умовах абразивної дії за рахунок отримання метастабільного аустеніту*

*Ключові слова: аустеніт, термообробка, мартенсит деформації*

*В работе показана эффективность применения дифференцированного подхода к выбору режимов термической обработки стали 110Г13Л, позволяющих значительно повысить ее износостойкость в различных условиях абразивного воздействия за счет получения метастабильного аустенита*

*Ключевые слова: аустенит, термообработка, мартенсит деформации*

**Л.С. Малінов**

Доктор технічних наук, професор, завідувач\*  
Контактний тел.: (0629) 44-66-58

**Н.А. Солідор**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: (0629) 44-61-69,  
e-mail: solidor@rambler.ru

**В.О. Мілентьєв**

Здобувач\*

Заступник начальника ЦДР ПАТ «ММК ім. Ілліча», пр.  
Ілліча, 57, м. Маріуполь, Донецька обл., Україна, 87500  
Контактний тел.: 096-884-32-71

\*Кафедра «Матеріалознавство»

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,  
вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Донецька обл.,  
Україна, 87500

### 1. Вступ

До теперішнього часу однією з найпоширеніших зносостійких сталей, що використовуються в промисловості, є сталь Гадфільда 110Г13Л. Переваги цієї сталі в тому, що вона володіє високим опором розриву й удару, а головне – великим опором зношуванню в умовах одночасної дії стираючих і ударних навантажень, що обумовлене низькою енергією дефектів пакування (ЕДП), процесами двійникування та динамічного старіння аустеніту. Проте при експлуатації в умовах зношування без ударних навантажень зносостійкість високомарганцевої сталі невисока.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомі роботи [1-2], в яких з метою підвищення якості відливок та зносостійкості автори рекомендують вводити до складу сталі 110Г13Л додаткові елементи (V, Ti, Nb, Zr та ін.), що збільшує її вартість.

Широкі можливості у підвищенні зносостійкості високомарганцевої сталі без коректування її хімічного складу відкриває термічна обробка. Між тим, запропоновані в роботах [3-4] режими термообробки сталі 110Г13Л, незважаючи на збереження відносно високого рівня ударної в'язкості, не дозволяють значно підвищити її абразивну зносостійкість, у зв'язку з чим