



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
ННБК «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум»  
Селянська спілка України  
Громадська організація «Єврореґіон «Дністер»»  
Асоціація фермерів та приватних землевласників Вінницької області

ПРОГРАМА  
МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ

«ЗЕМЛЯ- ПОТЕНЦІАЛ  
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ЕКОНОМІЧНОЇ  
ТА НАЦІОНАЛЬНОЇ  
БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ»

24-25 ЖОВТНЯ 2019  
М.ВІННИЦЯ



## ПОРЯДОК РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ

24 жовтня 2019 р.

### СЕКЦІЙНІ ЗАСІДАННЯ

09<sup>00</sup>-10<sup>00</sup> Заїзд та реєстрація учасників (*хол корпусу № 2*)

10<sup>00</sup>-12<sup>00</sup> **РОБОТА СЕКЦІЙ**

**Секція 1.** Організаційно-економічний механізм формування ринку землі сільськогосподарського призначення (*аудиторія 2602*).

**Секція 2.** Проблеми правового регулювання земельних відносин у контексті забезпечення сталого розвитку України (*аудиторія 2319*).

**Секція 3.** Агротехнологічні аспекти збереження продуктивного та екологічного потенціалу земель сільськогосподарського призначення (*аудиторія 2512*).

12<sup>00</sup>-12<sup>30</sup> кава-брейк

12<sup>30</sup>-14<sup>00</sup> **ПРОДОВЖЕННЯ РОБОТИ СЕКЦІЙ**

14<sup>30</sup>-15<sup>00</sup> кава-брейк

15<sup>00</sup>-17<sup>00</sup> **ПРОДОВЖЕННЯ РОБОТИ СЕКЦІЙ**

Ознайомлення з науково-технічними розробками та виданнями Вінницького національного аграрного університету, матеріально-технічною базою університету та Консорціуму.

Відвідування музею Вінницького національного аграрного університету, Ботанічного саду Вінницького національного аграрного університету, екскурсія містом (до музею-садиби М.І. Пирогова та ін.).

**25 жовтня 2019 р.**

**ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ**

- 09<sup>00</sup>-9<sup>57</sup>**      Заїзд та реєстрація учасників (*1-й поверх, корпус № 2*)
- 09<sup>57</sup>-10<sup>05</sup>**      **ВІДКРИТТЯ КОНФЕРЕНЦІЇ**
- 9<sup>57</sup>-11<sup>40</sup>**      **ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ** (*аудиторія 2220*)
- 11<sup>40</sup>-12<sup>00</sup>**      кава-брейк (корпус № 2)
- 12<sup>00</sup>-14<sup>00</sup>**      **ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ** (*аудиторія 2220*)
- 14<sup>00</sup>-16<sup>00</sup>**      **ПІДСУМКИ РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Ознайомлення з науково-технічними розробками та виданнями Вінницького національного аграрного університету, матеріально-технічною базою університету та Консорціуму.

Відвідування музею Вінницького національного аграрного університету, Ботанічного саду Вінницького національного аграрного університету, екскурсія містом (до музею-садиби М.І. Пирогова та ін.)

**РЕГЛАМЕНТ**

Доповідь на пленарному засіданні – до 15 хв.

Доповідь на секційному засіданні – 5-10 хв.

Дискусія – 3-5 хв.



## ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

<b>ВІДКРИТТЯ КОНФЕРЕНЦІЇ. ВІТАЛЬНЕ СЛОВО</b>	
<b>9:57- 10:01</b>	<b>КАЛЕТНИК Григорій Миколайович</b> , доктор економічних наук, професор, академік НААН України, президент Всеукраїнського науково-навчального консорціуму
<b>10:01- 10:05</b>	<b>Татусяк Сергій Пилипович</b> , голова ГО «Єврорегіон «Дністер»», кандидат наук з державного управління
<b>ДОПОВІДІ НА ПЛЕНАРНОМУ ЗАСІДАННІ</b>	
<b>10:05- 10:20</b>	<b>НЕОЛІБЕРАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ РИНКОВОГО ОБІГУ ЗЕМЕЛЬ: СИЛЬНІ І СЛАБКІ СТОРОНИ</b> <b>Ходаківська Ольга Василівна</b> , доктор економічних наук, заступник директора - завідувач відділу земельних відносин і природокористування ННЦ «Інститут аграрної економіки»
<b>10:20- 10:35</b>	<b>ЗЕМЕЛЬНА РЕФОРМА В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ АКТУАЛЬНИХ ЗАКОНОДАВЧИХ ІНІЦІАТИВ</b> <b>Кучер Микола Іванович</b> , народний депутат України, кандидат сільськогосподарських наук
<b>10:35- 10:50</b>  15	<b>ОСОБЛИВОСТІ РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ У БОЛГАРІЇ – ПРАВОВИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ</b> <b>Мінко Георгієв</b> , доктор філософії, доцент Пловдивського аграрного університету, національний делегат Болгарії в Європейську раду по сільськогосподарському праву
<b>10:50- 10:57</b>  7	<b>КОНСТИТУЦІЙНІ АСПЕКТИ ОБІГУ ЗЕМЕЛЬ В УКРАЇНІ</b> <b>Ставнійчук Марина Іванівна</b> , кандидат юридичних наук, член Європейської комісії «За демократію через право» (Венеціанської Комісії від України (2009-2014))

<p>13:50- 13:55</p>	<p><b>ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХОМ УТИЛІЗАЦІЇ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</b>  <b>Веселовська Наталія Ростиславівна</b>, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>13:55- 14:00</p>	<p><b>ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL У КОНТЕКСТІ ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ҐРУНТ</b>  <b>Томчук Василь Васильович</b>, асистент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>✓ В 15:00- 15:05</p>	<p><b>ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ САДІВ ТА ЗЕМЕЛЬ ЛІСОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</b>  <b>Швець Людмила Василівна</b>, кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>✓ Т 15:05- 15:10</p>	<p><b>ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗЕМЕЛЬ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЧИНЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН У БІОЛОГІЧНИХ ДОБРИВАХ</b>  <b>Севостьянов Іван Вячеславович</b>, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>✓ В 15:10- 15:15</p>	<p><b>ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗЕМЕЛЬ САДОВОГО ГОСПОДАРСТВА ШЛЯХОМ ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ</b>  <b>Полевода Юрій Алікович</b>, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету</p>



<p>✓</p> <p>15:15- 15:20</p> <p>В</p>	<p><b>ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВНУТРІШНЬОГРУНТОВОГО ЗВОЛОЖЕННЯ</b>  <b>Солона Олена Василівна</b>, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>15:20- 15:25</p>	<p><b>ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ КОМПОНУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL У КОНТЕКСТІ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</b>  <b>Купчук Ігор Миколайович</b>, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>15:25- 15:30</p>	<p><b>ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УКРАЇНІ</b>  <b>Малаков Олександр Іванович</b>, аспірант Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>15:30- 15:35</p>	<p><b>ЗБАЛАНСОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</b>  <b>Тинько Валентина Василівна</b>, аспірантка Вінницького національного аграрного університету</p>
<p>15:35- 15:40</p>	<p><b>ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ НА ЗБЕРЕЖЕННЯ РОДЮЧОСТІ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГРУНТІВ В УМОВАХ ПОДІЛЛЯ</b>  <b>Бахмат Микола Іванович</b>, доктор сільськогосподарських наук, професор Подільського державного аграрно-технічного університету</p>
<p>15:40- 15:45</p>	<p><b>ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛУЧНИХ ФІТОЦЕНОЗІВ ПОЛІССЯ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГРУНТІВ</b>  <b>Мойсієнко Віра Василівна</b>, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри рослинництва Житомирського національного агроекологічного університету</p>





Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
ННБК «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум»  
Селянська спілка України  
Громадська організація «Єврорегіон «Дністер»»  
Асоціація фермерів та приватних землевласників Вінницької області

# СЕРТИФІКАТ

УЧАСНИКА МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

## «ЗЕМЛЯ – ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ЕКОНОМІЧНОЇ ТА НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ»

Захід внесено в реєстр УкрІНТЕІ  
(посвідчення № 551 від 10 жовтня 2019 р.)

# СОЛОНІЙ ОЛЕНІ ВАСИЛІВНІ

ПРЕЗИДЕНТ КОНСОРЦІУМУ

Г.М. КАЛЕТНІК

24-25 ЖОВТНЯ 2019  
М.ВІННИЦЯ

РЕКТОР ВНАУ

В.А. МАЗУР



ТЕОРЕТИЧНІ УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ПРОДУКТИВНОСТІ ЗЕМЕЛЬ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО  
ПРИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ  
ТЕХНОЛОГІЙ ВНУТРІШНЬОГРУНТОВОГО  
ЗВОЛОЖЕННЯ

Солона О.В.

ВНАУ



***Мета роботи:*** розробка і оптимізація параметрів і режимів роботи пристрою з протифільтраційним екраном для зрошення плодкових насаджень

***Предмет роботи:*** взаємозв'язки параметрів і режимів роботи пристрою для прокладки зрошувача з властивостями ґрунту.

***Об'єкт досліджень:*** взаємозв'язки параметрів і режимів роботи пристрою для прокладки зрошувача з властивостями ґрунту.



# Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- виконати аналіз сучасного стану та перспектив розвитку існуючих способів і технічних засобів, параметрів і режимів їх роботи для зрошення сільськогосподарських культур;
- вивчити закономірності пересування і розподілу вологи в активному шарі ґрунту при внутрішньогрунтовому зрошенні;
- виконати аналіз взаємодії робочого органу для утворення порожнини у ґрунті для безтраншейного укладання зрошувача з протифільтраційним екраном;
- проаналізувати ущільнення стінок порожнини при взаємодії з ґрунтом робочого органу;
- виконати аналіз енергоємності процесу одночасного утворення порожнини в ґрунті і протягування труби зрошувача з протифільтраційним екраном;
- виконати аналіз стійкості зводу порожнини, утвореної робочим органом у ґрунті;
- експериментально підтвердити адекватність отриманих теоретичних залежностей.



# Методи досліджень

При проведенні теоретичних досліджень використовувалися методи механіки суцільних середовищ, зокрема механіки в'язкопружності, механіки сипучих дискретних середовищ, математичної фізики, математичного аналізу. При проведенні експериментальних досліджень використовувалися як стандартні методи досліджень в області механізації сільського господарства, так і розроблені автором оригінальні методики. Широке застосування знайшли методи електричних вимірювань неелектричних величин. При аналізі результатів теоретичних і експериментальних досліджень широко використовувалися прикладні комп'ютерні пакети, такі як Mathematica, Statistica та ін.



# Наукова новизна отриманих результатів

1. Отримало подальший розвиток розв'язання задачі про взаємодію робочих органів різної геометричної форми з метою утворення порожнини у ґрунті і ущільнення стінок утвореної порожнини. Ґрунт представлений у вигляді в'язкопружного суцільного середовища.
2. Вперше визначено аналітичні функції зв'язку геометричних параметрів і режимів роботи робочого органу, а також механічних властивостей ґрунту зі змінами щільності ґрунту утворювати порожнини.
3. Розвинені аналітичні залежності визначення компонент сил опору руху робочого органу в ґрунті в залежності від його геометричних параметрів і режимів роботи, а також механічних властивостей ґрунту.
4. Отримала подальший розвиток умова вільноутворення в утвореної порожнини у залежності від параметрів самої порожнини і механічних властивостей ґрунту.

# Стан досліджень взаємодії рушіїв з грунтом

- Аналізу методів прогнозування розподілу вологи в ґрунтах присвячені роботи С. Ф. Авер'янова, С. І. Долгова, АВ Ликова, А. І. Будаговського, І. І. Судніцина, А. Ф. Лебедева, АА Роде, Е. Букінгема, Н . Едлефсена, Дж. Філіпа і ін.
- Розробці методів зрошення плодових насаджень присвячені роботи Є. В. Акутневой, І. П. Айдарова, М. В. Мазепи, А. Д. Ахмедова, М. Н. Багрова, і ін.
- Розробці методів і теоретичного обґрунтування безтраншейної укладання дренажних комунікацій присвячені роботи С. В. Кравця, О. Л. Романовського, М. Д. Касліна, В. М. Супонева і ін.
- Методам формалізації взаємодії робочих органів з ґрунтів присвячені роботи Кулена А., Куіперс Х, Кушнар'ова А.С., Панова І.М., Ковбаси В.П. та ін.



# Методи формалізації ґрунту і взаємодії з нею рушіїв мобільних машин

За формою представлення моделі будови ґрунту всі роботи, які стосуються взаємодії деформаторів з ґрунтом, можна розділити на п'ять груп:

- 1) тверде тіло;
- 2) суцільне пружне середовище;
- 3) суцільне нестисливе сипуче середовище (дискретне сипуче середовище);
- 4) суцільне пружно-в'язке середовище;
- 5) суцільне пружно-в'язкопластичне середовище.

При цьому, у якості аналітичного апарату використовуються: методи механіки твердого тіла, методи теорії пружності і її спрощені варіанти, методи механіки ґрунтів, методи теорії подібності і розмірності, методи статистичної механіки, методи реології.

# Висновки з аналізу стану питання

- У якості зволожувачів рекомендуються тонкостінні гофровані труби діаметром 25 ... 50 мм з перфорацією в западинах гофра; діаметр отворів - не більше 1 мм, число отворів від 100 до 600 на метр; діаметр трубок-зволожувачів - постійний по всій довжині.
- Обов'язковою умовою є захист перфорації шляхом обертання трубки рулонним негниючим матеріалом (капрон, склотканина, поліетиленова плівка або їх комбінація).
- Всі розглянуті способи укладання труб не дозволяють досягти оптимальних умов для збереження і поширення вологи при внутрішньогрунтовому зрошенні сільськогосподарських рослин.
- Найбільш прийнятним для цього є безтраншейний спосіб укладання труб-зволожувачів, який базується на принципі вертикального заглиблення гнучких трубопроводів в ґрунт. При цьому використовуються кротувачі різної геометричної форми і розмірів.
- Однак, розглянутий спосіб не дозволяє укласти протифільтраційний екран спільно із зволожувачем. У зв'язку з цим, дослідження слід направити на обґрунтування геометричних параметрів і режимів роботи робочого органу для утворення кротовини, розробку способу і технічного рішення безтраншейного укладання зволожувачів спільно з протифільтраційним екраном.

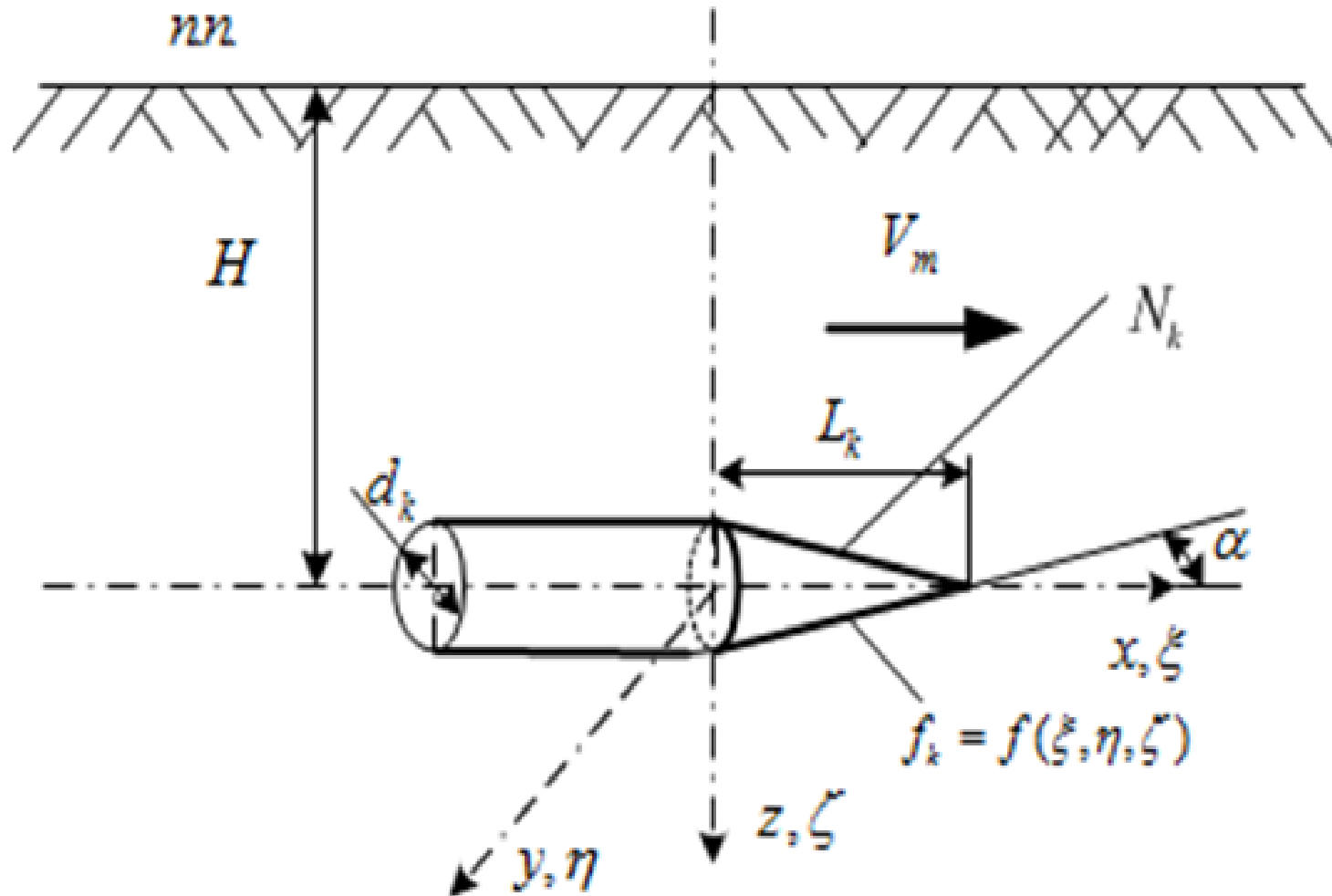


# ДОПУЩЕННЯ І СПРОЩЕННЯ, ПРИЙНЯТІ ПРИ АНАЛІЗІ

При аналізі взаємодії робочого органу були прийняті такі припущення і спрощення:

- Грунт являє собою квазісуцільне ізотропне деформуюче середовище з властивостями пружності і в'язкості з лінійним їх проявом.
- Робочий орган при аналізі може бути розділений на дві складові частини, кожна з яких аналізується окремо. Поверхня робочого органу представляється абсолютно твердою недеформуючою.
- Внаслідок лінійності проявів пружних і в'язких властивостей завдання про контактну взаємодію робочого органу на ґрунт може вирішуватися аналітичними методами теорії в'язкопружності. При цьому, швидкості переміщень падають обернено пропорційно видаленню від точки контакту, а швидкості деформацій і напруги падають назад пропорційно квадрату відстані від точки контакту.

# АНАЛІЗ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ КОНУСНИМ НАКОНЕЧНИКОМ РОБОЧОГО ОРґАНУ





# ВИХІДНІ РІВНЯННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ

- Форма поверхні конуса в системі координат, яка збігається з системою координат ґрунту, може бути представлена рівнянням для дійсного конуса в неявному вигляді:

$$f_k = -\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} + \frac{\zeta^2}{c^2} = 0 \qquad -\frac{(L_k - \xi)^2}{r^2} + \frac{\eta^2 + \zeta^2}{a^2} = 0.$$

Косинуси кутів нахилу нормалі до поверхні конуса до осей координат  $l_k, m_k, n_k$  виразяться залежностями

$$l_k = \frac{\partial f_k / \partial \xi}{\sqrt{(\partial f_k / \partial \xi)^2 + (\partial f_k / \partial \eta)^2 + (\partial f_k / \partial \zeta)^2}} \qquad m_k = \frac{\partial f_k / \partial \eta}{\sqrt{(\partial f_k / \partial \xi)^2 + (\partial f_k / \partial \eta)^2 + (\partial f_k / \partial \zeta)^2}}$$

$$n_k = \frac{\partial f_k / \partial \zeta}{\sqrt{(\partial f_k / \partial \xi)^2 + (\partial f_k / \partial \eta)^2 + (\partial f_k / \partial \zeta)^2}}$$

- Компоненти швидкостей на поверхні контакта:

$$u_{k0} = V_m; v_{k0} = \frac{r^2 V_m \eta}{a^2 (L_k - \xi)}; w_{k0} = \frac{r^2 V_m \zeta}{a^2 (L_k - \xi)}$$

## Бігармонічні рівняння і граничні умови

На поверхні контакта;

$$u_k \Big|_{x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0} = u_{k0} \quad v_k \Big|_{x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0} = v_{k0}$$

$$w_k \Big|_{x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0} = w_{k0} \quad ;$$

На безкінечності;

$$u_k \Big|_{x-\xi=\infty, y-\eta=\infty, z-\zeta=\infty} \rightarrow 0 \quad v_k \Big|_{x-\xi=\infty, y-\eta=\infty, z-\zeta=\infty} \rightarrow 0 \quad w_k \Big|_{x-\xi=\infty, y-\eta=\infty, z-\zeta=\infty} \rightarrow 0$$

Бігармонічні потенційні функції, що визначають швидкості деформацій в ґрунті:

$$u_k = \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \frac{a_0 u_{k0} (x - \xi_k + \delta)}{((x - \xi_k + \delta)^2 + (y - \eta_k + \delta)^2 + (z - \zeta_i + \delta)^2)^{3/2}} d\zeta_k d\eta_k;$$

$$v_k = \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 v_{k0} (y - \eta_i + \delta)}{((x - \xi_i + \delta)^2 + (y - \eta_i + \delta)^2 + (z - \zeta_i + \delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\zeta_k;$$

$$w_k = \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 w_k (z - \zeta_i + \delta)}{((x - \xi_k + \delta)^2 + (y - \eta_k + \delta)^2 + (z - \zeta_i + \delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\eta_k;$$

Коефіцієнт, що забезпечує виконання початкових умов при введенні малої величини, що усуває сингулярність:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \frac{4}{\text{Log}[-\delta + \sqrt{3}\sqrt{\delta^2}] - \text{Log}[\delta + \sqrt{3}\sqrt{\delta^2}]}$$

$\delta$

## Зведення швидкостей до диференціальної форми для спрощення аналізу

$$\begin{aligned}
 du_k &= \frac{d^2}{d\eta_k d\zeta_k} \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \frac{a_0 u_{k0} (x - \xi_k + \delta)}{((x - \xi_k + \delta)^2 + (y - \eta_k + \delta)^2 + (z - \zeta_k + \delta)^2)^{3/2}} d\zeta_k d\eta_k = \\
 &= \frac{a_0 V_m (x + \delta - \xi_k)}{((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{3/2}};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dv_k &= \frac{d^2}{d\zeta_k d\xi_k} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 v_{k0} (y - \eta_k + \delta)}{((x - \xi_k + \delta)^2 + (y - \eta_k + \delta)^2 + (z - \zeta_k + \delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\zeta_k = \\
 &= \frac{a_0 r^2 V_m (y + \delta - \eta) \eta}{a^2 ((z + \delta - \zeta)^2 + (y + \delta - \eta)^2 + (x + \delta - \xi)^2)^{3/2} (Lk - \xi)};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dw_k &= \frac{d^2}{d\eta_k d\zeta_k} \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \frac{a_0 w_k (z - \zeta_i + \delta)}{((x - \xi_k + \delta)^2 + (y - \eta_k + \delta)^2 + (z - \zeta_k + \delta)^2)^{3/2}} d\zeta_k d\eta_k = \\
 &= \frac{a_0 r^2 V_m (z + \delta - \zeta_k) \zeta_k}{a^2 ((x - \xi_k + \delta)^2 + (y - \eta_k + \delta)^2 + (z - \zeta_i + \delta)^2)^{3/2} (Lk - \xi_k)}.
 \end{aligned}$$



# КОМПОНЕНТИ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СКЛАДОВИХ ШВИДКОСТЕЙ ДЕФОРМАЦІЇ

$$d\dot{\epsilon}_{xk} = \frac{d}{dx} du_k = \frac{a_0 V_m ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 - 2(x + \delta - \xi_k)^2)}{((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2}};$$

$$d\dot{\epsilon}_{yk} = \frac{d}{dy} dv_k = \frac{a_0 r^2 V_m \eta_k ((z + \delta - \zeta_k)^2 - 2(y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (L_k - \xi_k)};$$

$$d\dot{\epsilon}_{zk} = \frac{d}{dz} dw_k = \frac{a_0 r^2 V_m \zeta_k (-2(z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (L_k - \xi_k)};$$

$$d\dot{\gamma}_{xyk} = \frac{d}{dy} du_k + \frac{d}{dx} dv_k = \frac{3a_0 V_m (y + \delta - \eta_k)(r^2 \eta_k + a^2 (L_k - \xi_k))(x + \delta - \xi_k)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (-L_k + \xi_k)};$$

$$d\dot{\gamma}_{xzk} = \frac{d}{dz} du_k + \frac{d}{dx} dw_k = \frac{3a_0 V_m (z + \delta - \zeta_k)(r^2 \zeta_k + a^2 (L_k - \xi_k))(x + \delta - \xi_k)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (-L_k + \xi_k)};$$

$$d\dot{\gamma}_{yzk} = \frac{d}{dz} dv_k + \frac{d}{dy} dw_k = \frac{3a_0 r^2 V_m (z + \delta - \zeta_k)(y + \delta - \eta_k)(\zeta_k + \eta_k)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (-L_k + \xi_k)};$$

# ФІЗИЧНІ РІВНЯННЯ ЗВ'ЯЗКУ В'ЯЗКОПРУЖНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ҐРУНТУ

$$\sigma_x = \frac{4}{9} e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu)(6\dot{\epsilon}_x - 3(\dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z) - \frac{e^{\frac{Gt}{\eta(1+\nu)}}(1+\nu)(\dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z)}{-1+2\nu});$$

$$\sigma_y = \frac{4}{9} e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu)(-3(\dot{\epsilon}_x - 2\dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z) - \frac{e^{\frac{Gt}{\eta(1+\nu)}}(1+\nu)(\dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z)}{-1+2\nu});$$

$$\sigma_z = \frac{4}{9} e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu)(-3(\dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y - 2\dot{\epsilon}_z) - \frac{e^{\frac{Gt}{\eta(1+\nu)}}(1+\nu)(\dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z)}{-1+2\nu});$$

$$\tau_{xy} = 2e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu)\dot{\gamma}_{xy}, \quad \tau_{yz} = 2e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu)\dot{\gamma}_{yz}, \quad \tau_{xz} = 2e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu)\dot{\gamma}_{xz}.$$

$G$  – модуль пружності зсувних деформацій;

$\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z$  – компоненти лінійних деформацій;  $\dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}$  – компоненти зсувних деформацій;  $\eta$  – модуль в'язкості зсувних деформацій;

$\nu$  -- коефіцієнт бокового розширення; час деформування:

$$t = \frac{l}{c} = l / \sqrt{\frac{E(-1+\nu)}{(-1+\nu+2\nu^2)\rho}} = \sqrt{2}l / \sqrt{\frac{G(-1+\nu)}{(1+\nu)^2(-1+2\nu)\rho}},$$

# ЗМІНА ЩІЛЬНОСТІ ГРУНТУ ПРИ ЗМІНІ НАПРУГИ СТАНУ

$$\rho_k = \rho_0 + b \ln[\sigma_m (1 + \tau_{max})],$$

$\rho_k$  – кінцева щільність ґрунту  $\left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ ,  $\rho_0$  – початкова щільність ґрунту,

$\sigma_m$  – середня або гідростатична напруга у досліджуваному об'ємі,

$\tau_{max}$  – максимальна дотична напруга у досліджуваному об'ємі,

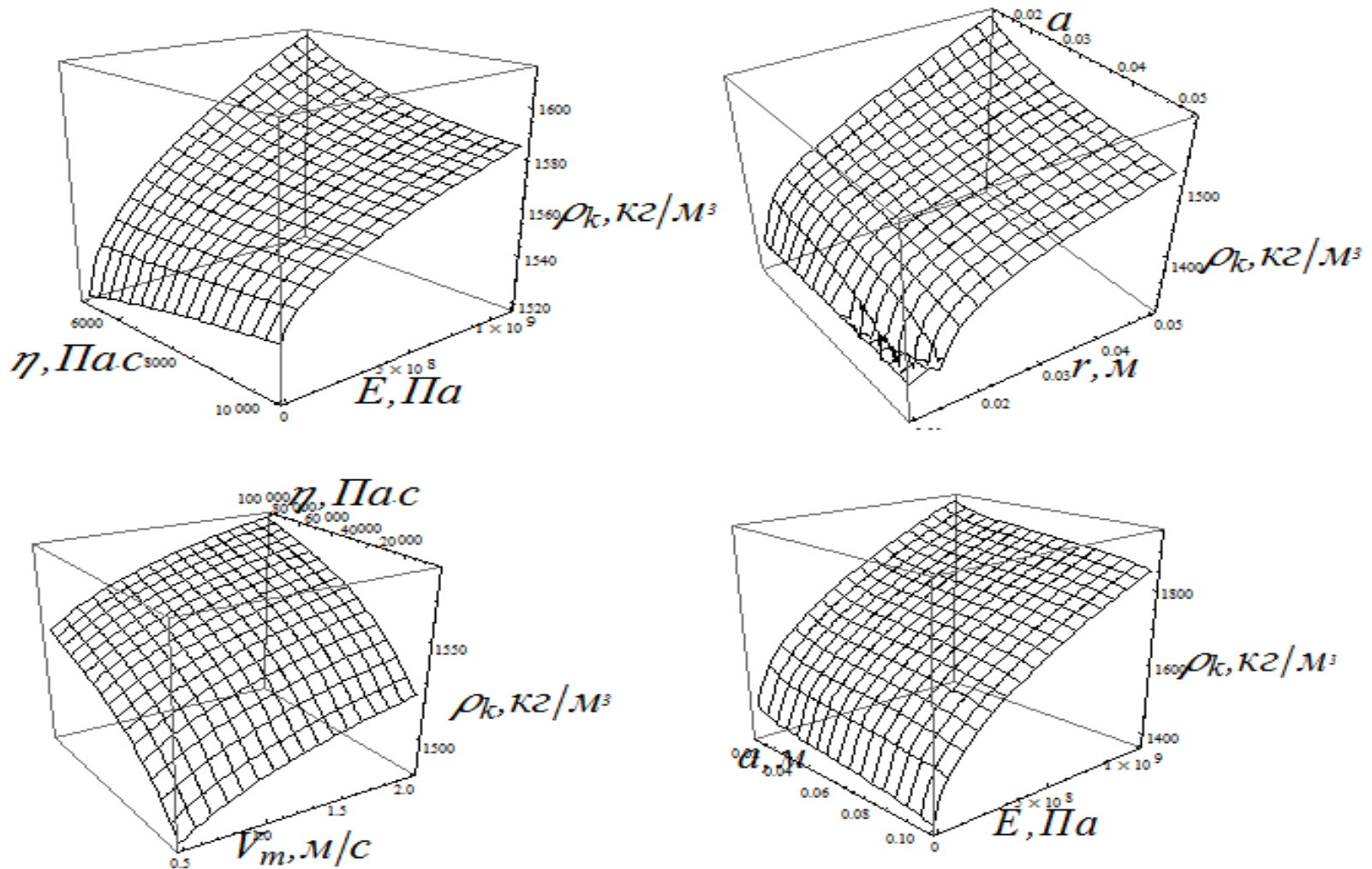
$b$  – емпіричний коефіцієнт

Величина гідростатичної напруги визначається як:

$\sigma_m = (\sigma_x + \sigma_z + \sigma_y)/3$ , а величина максимальної дотичної напруги для прикладних рішень, відповідно до результатів досліджень Новожилова В.В., може бути представлена середньоквадратичним компонент дотичних напруг у вигляді  $\tau_{max} = \sqrt{(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)/3}$ .



Графічне представлення змін щільності ґрунту на поверхні контакту в залежності від її механічних властивостей і параметрів конусної частини



## Визначення сил опору пересуванню ґрунту конусної частини робочого органу

- Компоненти тисків на поверхню конусної частини на основі рівнянь рівноваги на поверхні контакту:

$$dF_x = \sigma_x l_k + \tau_{xy} m_k + \tau_{xz} n_k; \quad dF_y = \sigma_y m_k + \tau_{xy} l_k + \tau_{yz} n_k;$$

$$dF_z = \sigma_z n_k + \tau_{xz} l_k + \tau_{yz} m_k.$$

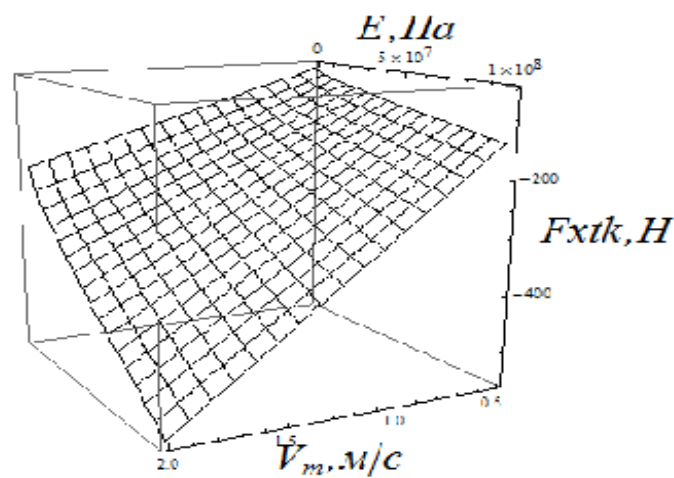
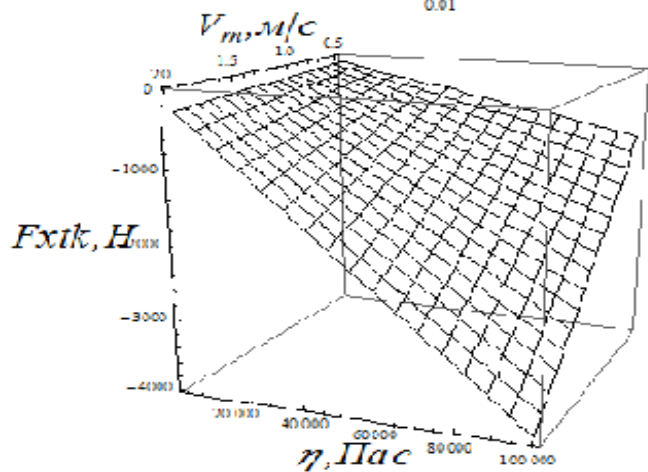
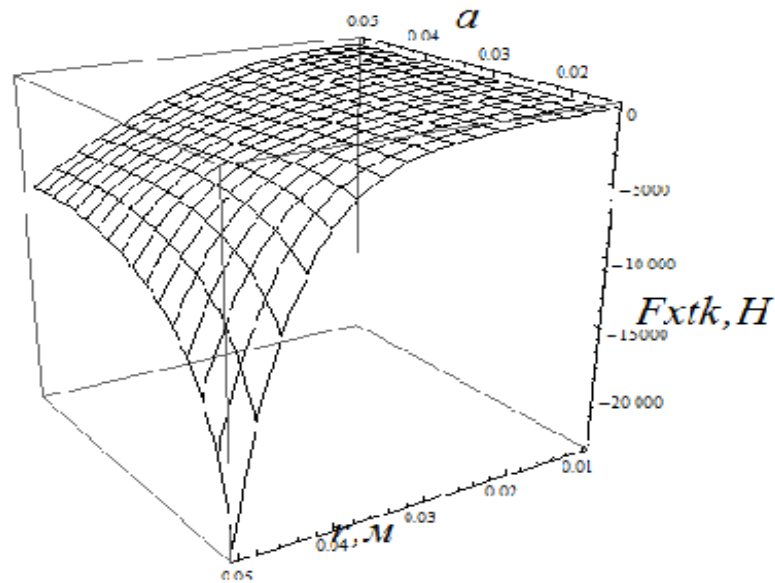
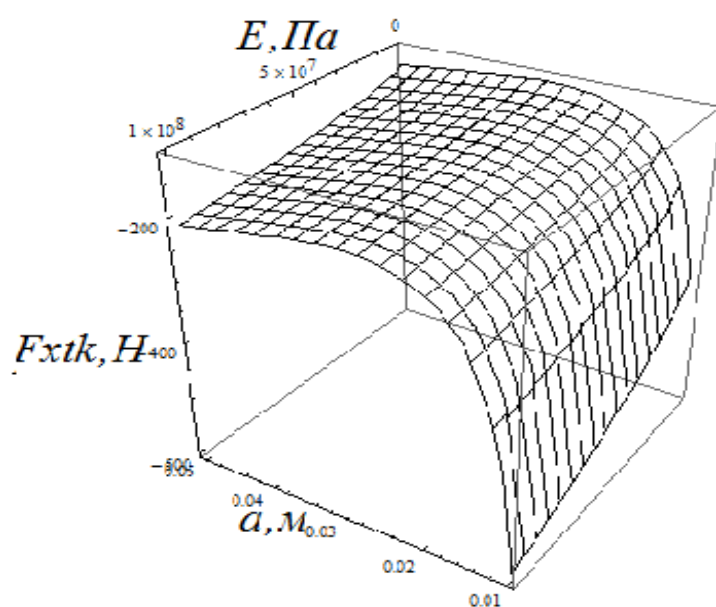
- Інтегрування тисків по площинах дає складові сил опору:

$$F_x = \int_{-r}^r \int_{-r}^r dF_x d\eta d\zeta; \quad F_y = \int_{-r}^r \int_{L_k}^0 dF_y d\xi d\zeta; \quad dF_z = \int_{-r}^r \int_{L_k}^0 dF_z d\xi d\eta.$$

- Сумарний опір переміщенню в напрямку руху:

$$F_{xtk} = F_x - \left( \sqrt{(F_y m_k)^2 + (F_z n_k)^2} \right) \operatorname{tg} \psi, \quad \psi \text{ -- кут зовнішнього тертя ґрунту – поверхня конуса}$$

Графічне представлення змін сил опору ґрунту в напрямку руху робочого органу в залежності від її механічних властивостей ґрунту і параметрів конусної частини



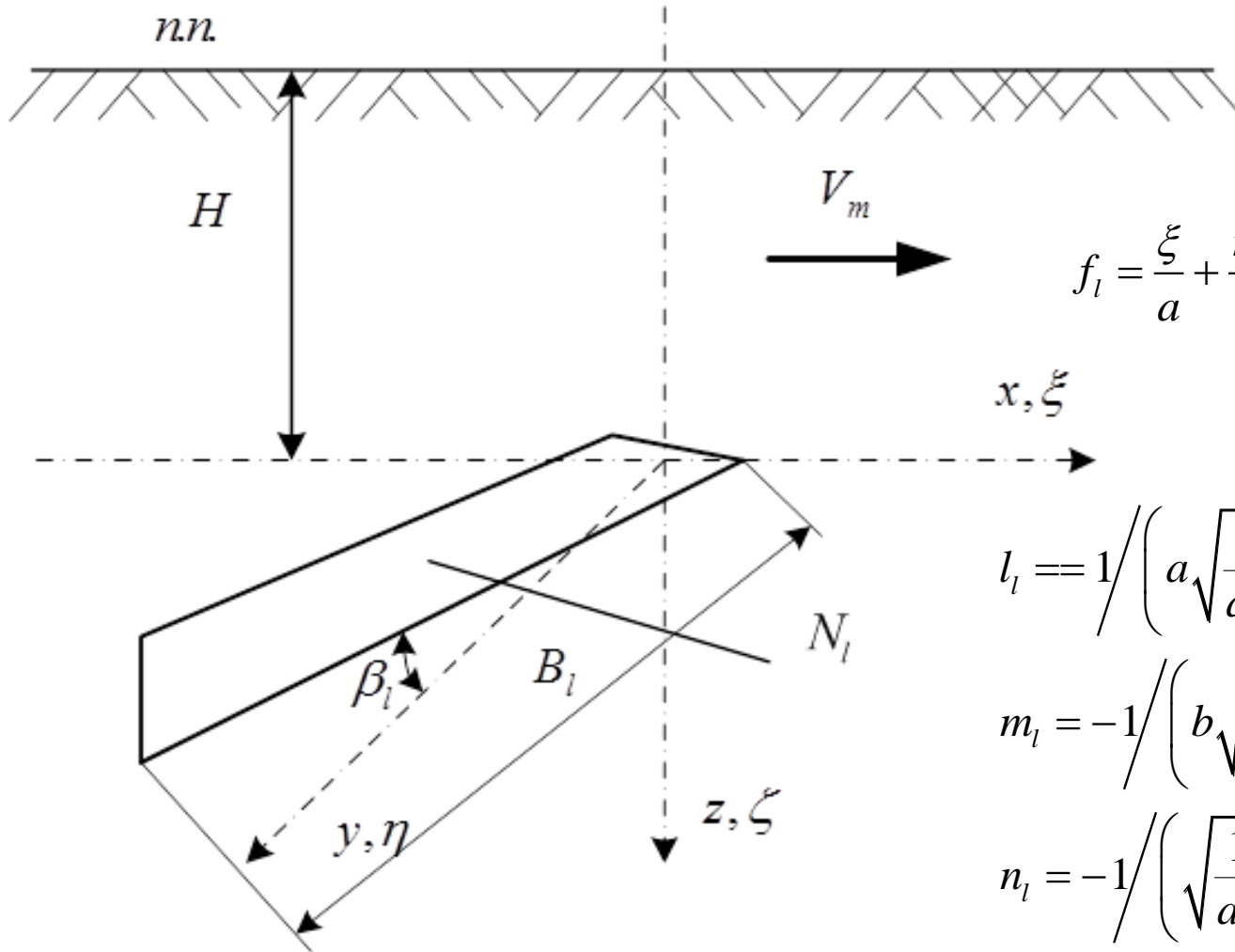


Таким чином, в результаті проведеного аналізу отримані компоненти швидкостей відносних деформацій ґрунту на поверхні контакту з конусним кротователем. Ці вирази є вихідними для подальшого визначення компонент напружень в ґрунті, які дозволяють визначити ущільнення ґрунту на стінках утвореної кротовини і складові сил опору переміщенню кротователя.

На підставі проведеного аналізу динаміки контактної взаємодії кротователя з ґрунтом встановлені компоненти нормальних і зсувних напружень ґрунту на поверхні контакту. Визначено напрямки та величини ущільнення ґрунту в залежності від механічних властивостей ґрунту, геометричних параметрів кротователя і швидкості його поступального переміщення. Визначено складові сил опору ґрунту руху кротователя в ґрунті в залежності від геометричних параметрів та швидкості його поступального переміщення, а також механічних властивостей ґрунту.

Аналізуючи залежності ущільнення ґрунту стінок утвореної кротовини і опір ґрунту пересуванню робочого органу, можна прийти до висновку, що для більшості ґрунтів за механічними характеристиками найбільш раціональними будуть наступні геометричні параметри конусної частини робочого органу: загострення,  $a \approx 0.02 r$  радіус підстави конуса, де  $r_t$  - радіус труби зрошувача, при швидкості руху  $V_m \approx 1 м / с$

# Аналіз ущільнення ґрунту лемішною частиною робочого органу для утворення порожнини



$$f_l = \frac{\xi}{a} + \frac{r - \eta}{b} + \frac{(r/2) - \zeta}{c} = 0$$

$$l_l = 1 / \left( a \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} \right);$$

$$m_l = -1 / \left( b \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} \right);$$

$$n_l = -1 / \left( \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} c \right).$$

Косинуси кутів нахилу нормалі до поверхні і  
компоненти швидкостей на поверхні лемеша

$$l_l = \frac{\partial f_l / \partial \xi}{\sqrt{(\partial f_l / \partial \xi)^2 + (\partial f_l / \partial \eta)^2 + (\partial f_l / \partial \zeta)^2}} = 1 / \left( a \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} \right);$$

$$m_l = \frac{\partial f_l / \partial \eta}{\sqrt{(\partial f_l / \partial \xi)^2 + (\partial f_l / \partial \eta)^2 + (\partial f_l / \partial \zeta)^2}} = -1 / \left( b \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} \right);$$

$$n_l = \frac{\partial f_l / \partial \zeta}{\sqrt{(\partial f_l / \partial \xi)^2 + (\partial f_l / \partial \eta)^2 + (\partial f_l / \partial \zeta)^2}} = -1 / \left( \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} c \right).$$

Компоненты скоростей:

$$v_{l0} = V_{nl} m_l = -aV_m / b; w_{l0} = V_{nl} n_l = -aV_m / c; u_{l0} = V_{nl} l_l = V_m$$

# Диференціальні функції компонент швидкостей переміщень грунту

$$\begin{aligned}
 du_l &= \frac{d^2}{d\eta_l d\zeta_l} \int_0^B \int_{-r}^r \frac{a_0 u_{l0} (x - \xi_l + \delta)}{((x - \xi_l + \delta)^2 + (y - \eta_l + \delta)^2 + (z - \zeta_l + \delta)^2)^{3/2}} d\xi_l d\eta_l = \\
 &= \frac{15 a_0 V_m (z + \delta - \zeta_l)(y + \delta - \eta_l)(x + \delta - \xi_l)}{((z + \delta - \zeta_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (x + \delta - \xi_l)^2)^{7/2}}; \\
 dv_l &= \frac{d^2}{d\zeta_l d\xi_l} \int_{-r}^r \int_0^{L_l} \frac{a_0 v_{l0} (y - \eta_k + \delta)}{((x - \xi_l + \delta)^2 + (y - \eta_l + \delta)^2 + (z - \zeta_l + \delta)^2)^{3/2}} d\xi_l d\zeta_l = \\
 &= -\frac{15 a a_0 V_m (z + \delta - \zeta_l)(y + \delta - \eta_l)(x + \delta - \xi_l)}{b((z + \delta - \zeta_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (x + \delta - \xi_l)^2)^{7/2}}; \\
 dw_l &= \frac{d^2}{d\eta_l d\zeta_l} \int_r^{BL_l} \int_0^{BL_l} \frac{a_0 w_{l0} (z - \zeta_l + \delta)}{((x - \xi_l + \delta)^2 + (y - \eta_l + \delta)^2 + (z - \zeta_l + \delta)^2)^{3/2}} d\xi_l d\eta_l = \\
 &= -\frac{15 a a_0 V_m (z + \delta - \zeta_l)(y + \delta - \eta_l)(x + \delta - \xi_l)}{c((z + \delta - \zeta_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (x + \delta - \xi_l)^2)^{7/2}}.
 \end{aligned}$$



# Диференціальні складові компонент швидкостей деформацій грунту від дії лемеші

$$d\dot{\tau}_{xl} = \frac{d}{dx} du_l =$$

$$= \frac{15a_0 V_m (z + \delta - \zeta_l)(y + \delta - \eta_l)((z + \delta - \zeta_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 - 6(x + \delta - \xi_l)^2)}{((z + \delta - \zeta_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (x + \delta - \xi_l)^2)^{9/2}};$$

.....

.

.

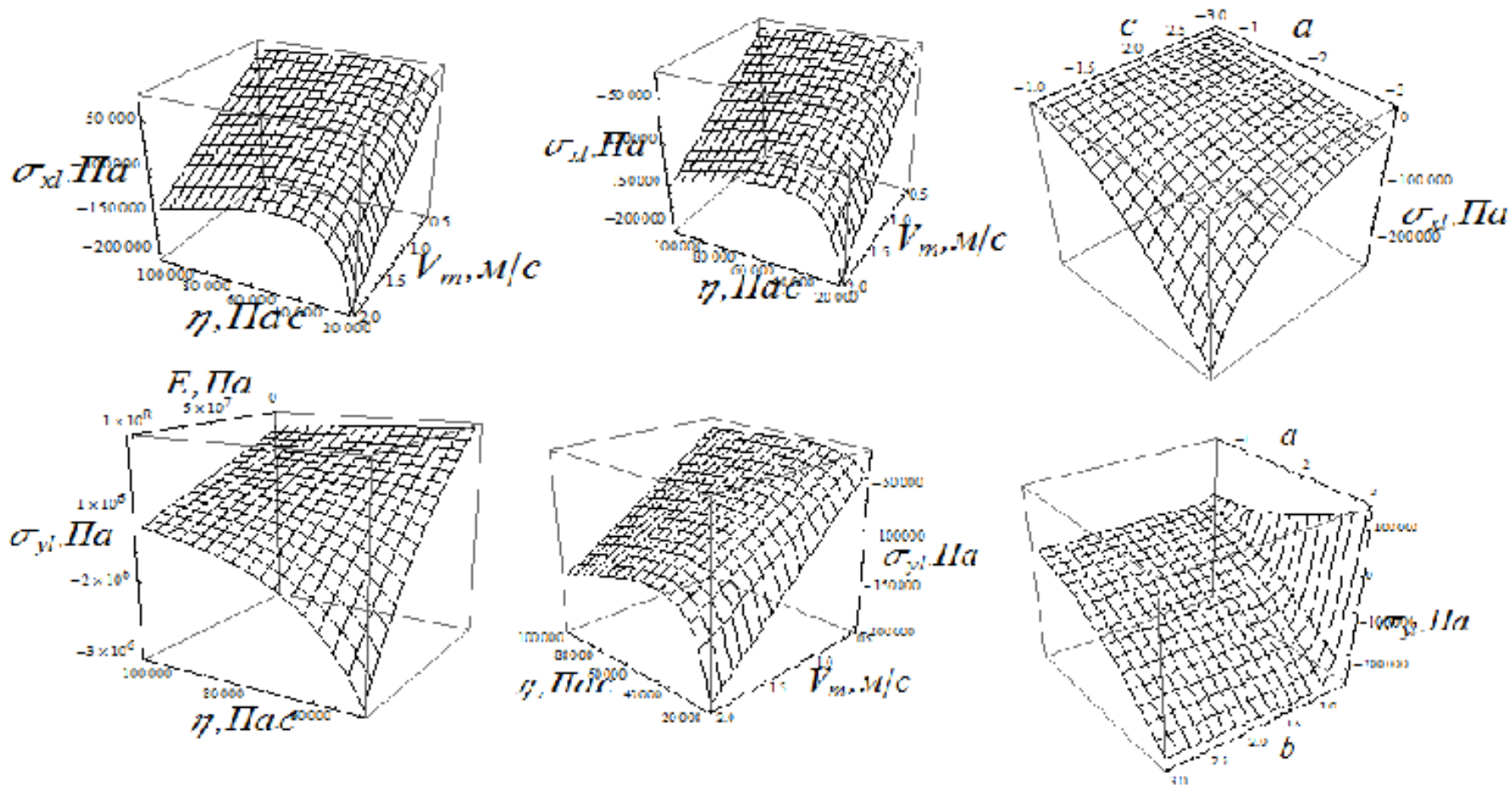
.....

$$d\dot{\gamma}_{yzl} = \frac{d}{dz} dv_l + \frac{d}{dy} dw_l = 15a a_0 V_m (x + \delta - \xi_l) \times$$

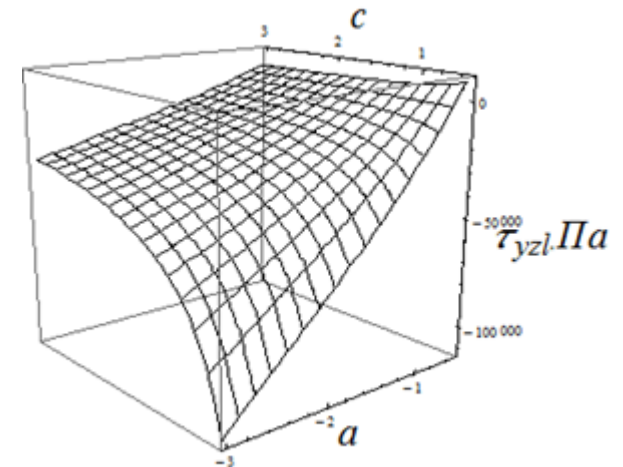
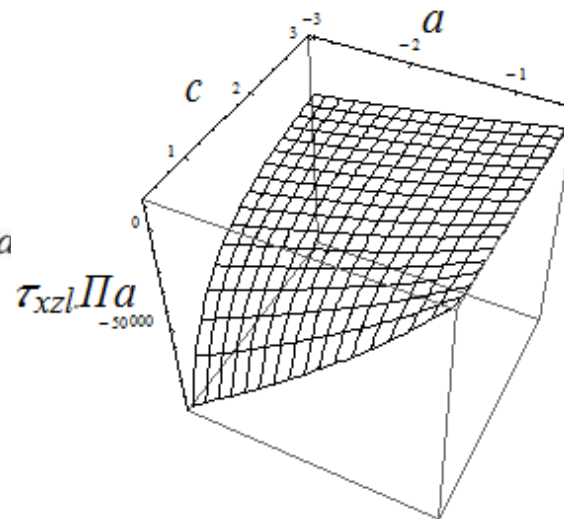
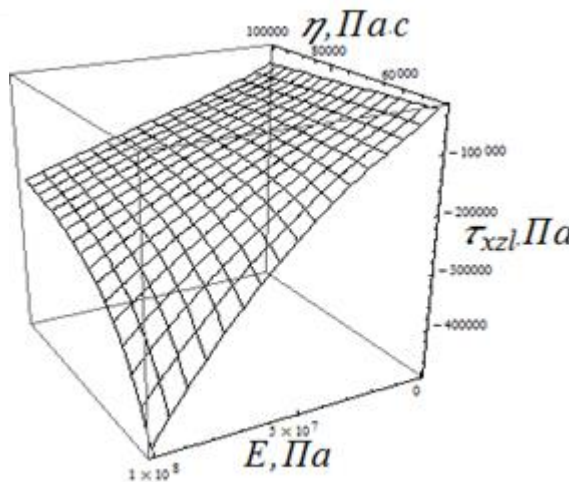
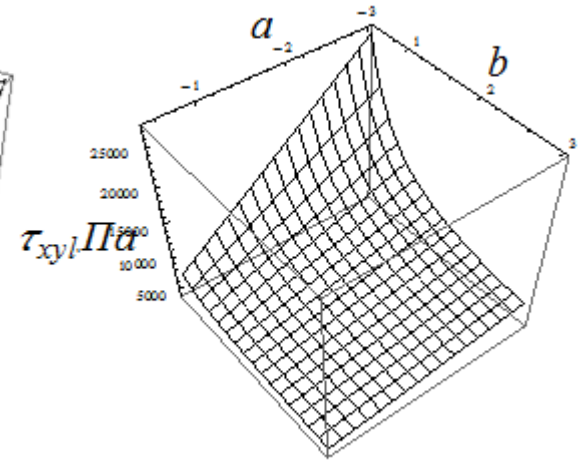
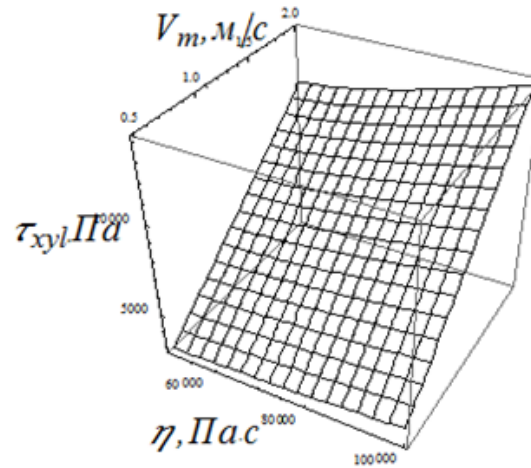
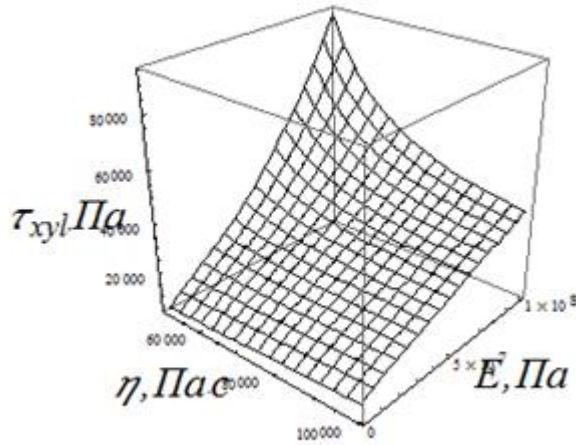
$$\left( \begin{aligned} & - \frac{(y + \delta - \eta_l)((x + \delta - \xi_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (z + \delta - \zeta_l)^2)}{b} + \frac{7(y + \delta - \eta_l)(z + \delta - \zeta_l)^2}{b} + \\ & + \frac{(z + \delta - \zeta_l)((x + \delta - \xi_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (z + \delta - \zeta_l)^2) - 7(y + \delta - \eta_l)^2(z + \delta - \zeta_l)}{c} \end{aligned} \right)$$

$$\times \frac{1}{((x + \delta - \xi_l)^2 + (y + \delta - \eta_l)^2 + (z + \delta - \zeta_l)^2)^{9/2}}$$

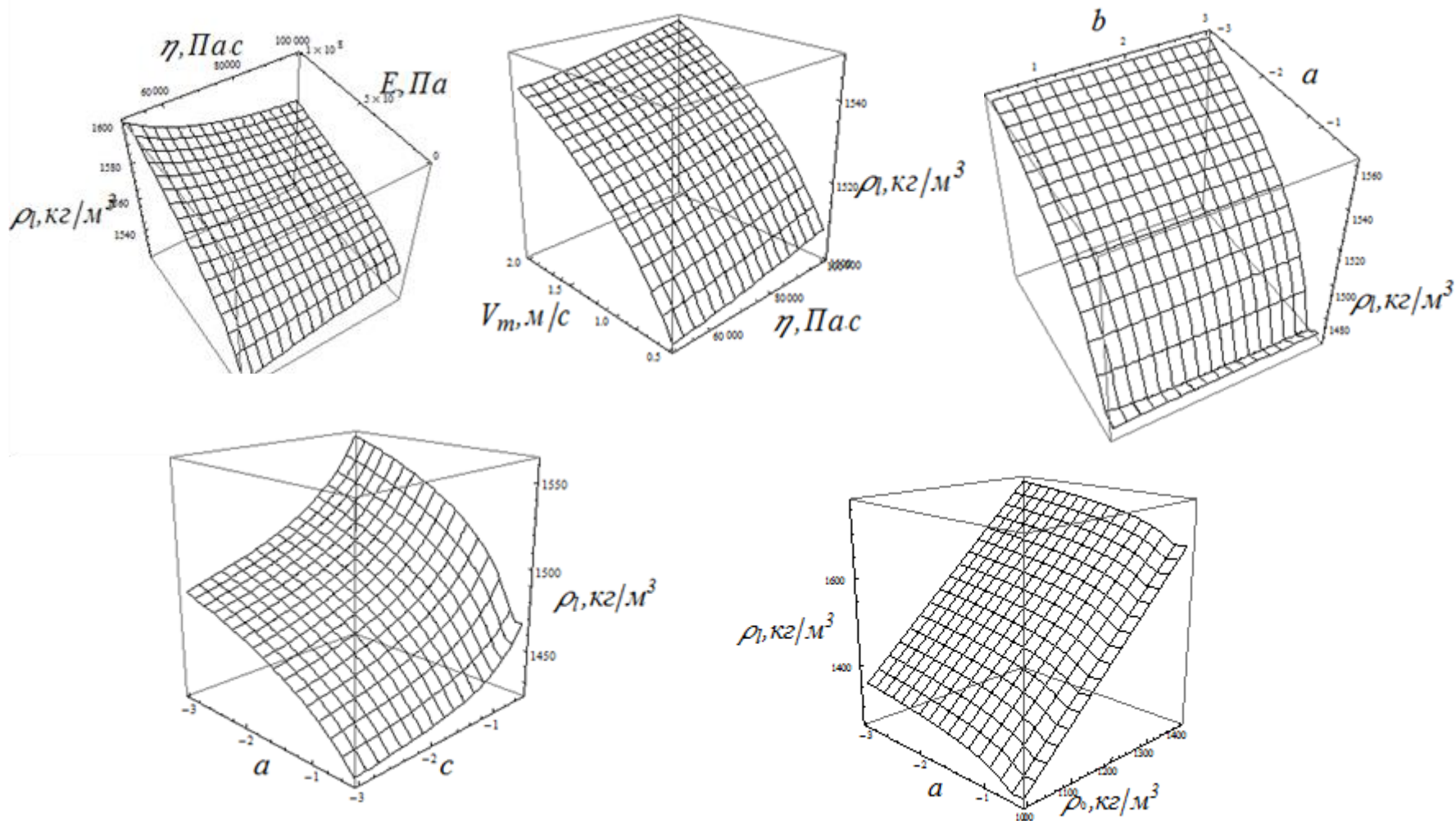
Компоненти напружень в ґрунті (ґрунті) визначаються аналогічно, як і для конуса. Графіки залежності компонент напружень від механічних властивостей ґрунту (ґрунту) і параметрів лемеша



# Графіки залежності компонент напружень від механічних властивостей ґрунту і параметрів лемеша



Функції зміни щільності ґрунту визначаються аналогічно, як і для конусної частини робочого органу. Графічна інтерпретація зміни щільності





Розподіл компонент тисків ґрунту на поверхню лемеша можуть бути визначені з умов рівноваги на поверхні

$$dF_{xl} = \sigma_{xl}l_l + \tau_{xyl}m_l + \tau_{xzl}n_l; dF_{yl} = \tau_{xyl}l_l + \sigma_{yl}m_l + \tau_{yzl}n_l;$$

$$dF_{zl} = \tau_{xzl}l_l + \tau_{yzl}m_l + \sigma_{zl}n_l,$$

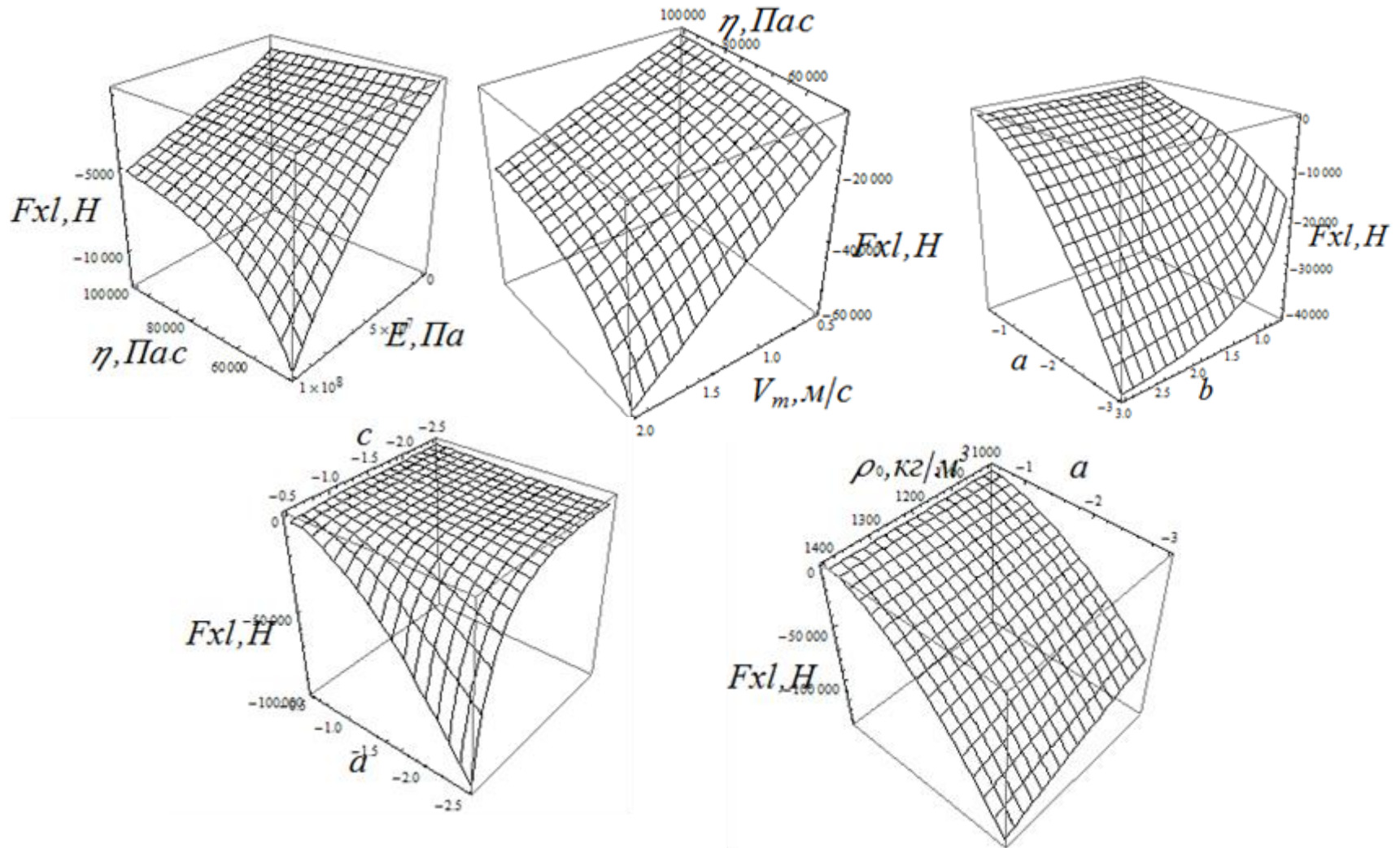
- Компоненти сил опору ґрунту руху лемеша:

$$F_{xl} = \int_{-r}^r \int_0^B dF_{xl} d\eta_l d\zeta_l; F_{yl} = \int_{-r}^r \int_0^{L_l} dF_{yl} d\xi_l d\zeta_l; dF_{zl} = \int_0^B \int_0^{L_l} dF_{zl} d\xi_l d\eta_l.$$

- Сила опору руху лемеша в напрямку переміщення робочого органу:

$$F_{xtl} = F_{xl} - \left( \sqrt{(F_{yl} m_l)^2 + (F_{zl} n_l)^2} \right) \operatorname{tg} \psi,$$

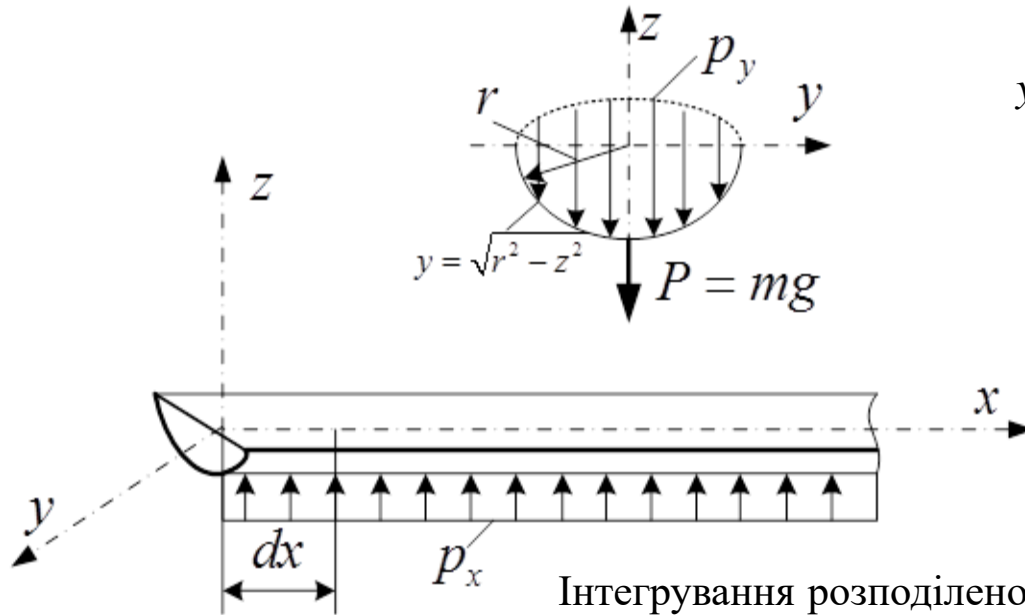
# Графіки залежності зміни сили опору переміщенню лемеші від його параметрів і механічних властивостей ґрунту



## Результати аналізу взаємодії лемеші з ґрунтом

- Таким чином, в результаті проведеного аналізу отримані компоненти швидкостей відносних деформацій ґрунту на поверхні контакту з лемішним робочим органом, а також компоненти напружень в ґрунті (ґрунті) на поверхні контакту з лемішним частиною робочого органу. Отримано залежності ущільнення ґрунту і складові опору ґрунту руху робочого органу в залежності від геометричних параметрів та режимів руху робочого органу, а також механічних властивостей ґрунту (ґрунту).
- Дослідження показали, що для забезпечення безперешкодної протягання екрану (мінімальне тертя екрану об стінки щілини) леміш може бути виконаний у вигляді площини з мінімально можливими коефіцієнтами  $b < 1$  та  $c < -1$ , при цьому коефіцієнт з урахуванням геометричних розмірів  $a \rightarrow -2$  такій площині. При таких параметрах площина лемеші забезпечить максимально можливе ущільнення ґрунту при найменш можливішому опорі руху робочого органу.

# Аналіз витрат енергії на протягування труби зволожувача і екрану



$$y = \sqrt{r^2 - z^2}; z = \sqrt{r^2 - y^2},$$

$$\left(\frac{P}{2r}\right) = \frac{d}{dy} \int_{-r}^r p_y \sqrt{1 + (z'[y])^2} dy,$$

$$\left(\frac{P}{2r}\right) = p_y \sqrt{1 + (z'[y])^2}, \quad P = mg$$

$$p_y = P / \left(2r \sqrt{r^2 / (r^2 - y^2)}\right)$$

Інтегрування розподіленої сили по довжині перерізу:

$$F_m = tg[\psi] \int_{-r}^r mg / \left(2r \sqrt{r^2 / (r^2 - y^2)}\right) dy = \frac{g m \pi \sqrt{r^2} tg[\psi]}{4 |r|}$$

Інтегрування по довжині протягання труби:

$$F_t = \int \frac{g m \pi \sqrt{r^2} tg[\psi]}{4 |r|} dx = \frac{x g m \pi \sqrt{r^2} tg[\psi]}{4 |r|}$$

Аналогічно для екрану:

Розподілена сила:

$$p_{ye} = m_e g / (2b)$$

$$F_{me} = tg[\psi_e] \int_{-r}^r m_e g / (2b) dy = g m_e tg[\psi_e]$$

$$F_{te} = \int g m_e tg[\psi_e] dx = x g m_e tg[\psi_e]$$

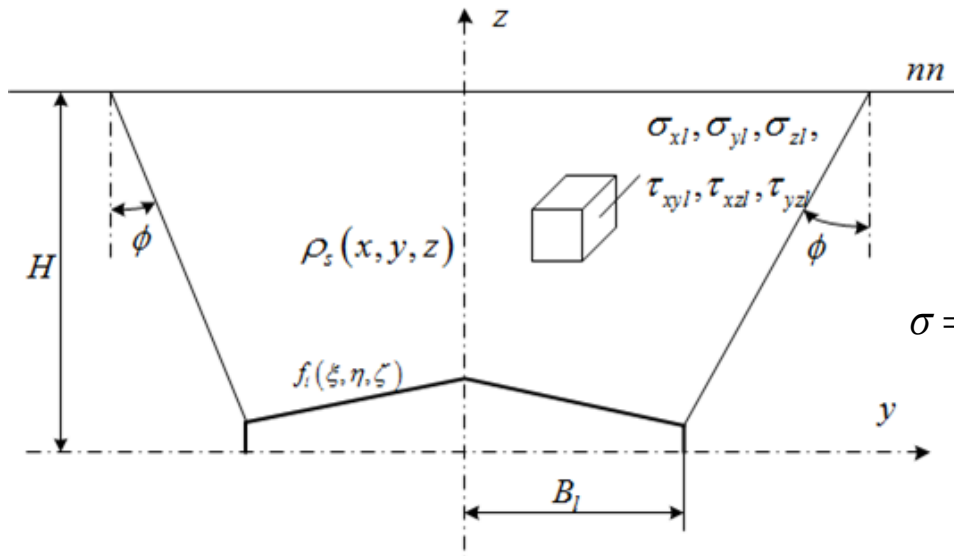


# Аналіз процесу сводообразовани після проходження лемішними частини робочого органу

- Критерій міцності для сипучої дискретної середовища (окремий випадок пластичності):

$$k = \frac{-3(\sigma \sin[\phi] + \tau_0 \cos[\phi])}{-3 + \sin[\phi]}$$

- де  $\sigma$  - гідростатичний напруга на поверхні можливого ковзання по лінії руйнування,  $\phi$  - кут внутрішнього тертя ґрунту (ґрунту),  $\tau_0$  - початкова напруга зсуву (або часто вживаний термін «коефіцієнт зчеплення»).



Гідростатична напруга в квазіємкості по Дженік Е.В.

$$\sigma = \frac{1}{3} b g \rho \left( 1 + e^{-\frac{z}{b + H \operatorname{tg}[\phi]}} \times \operatorname{arctg} \left[ \frac{b + H \operatorname{tg}[\phi]}{b + y + H \operatorname{tg}[\phi]} \right] \right) (-3 + \sin[\phi])$$

# Напруження створені тиском ґрунту в квазіємкості і напруги створені після проходження лемішними частини

- Критичне напруження створене тиском ґрунту на зведення:

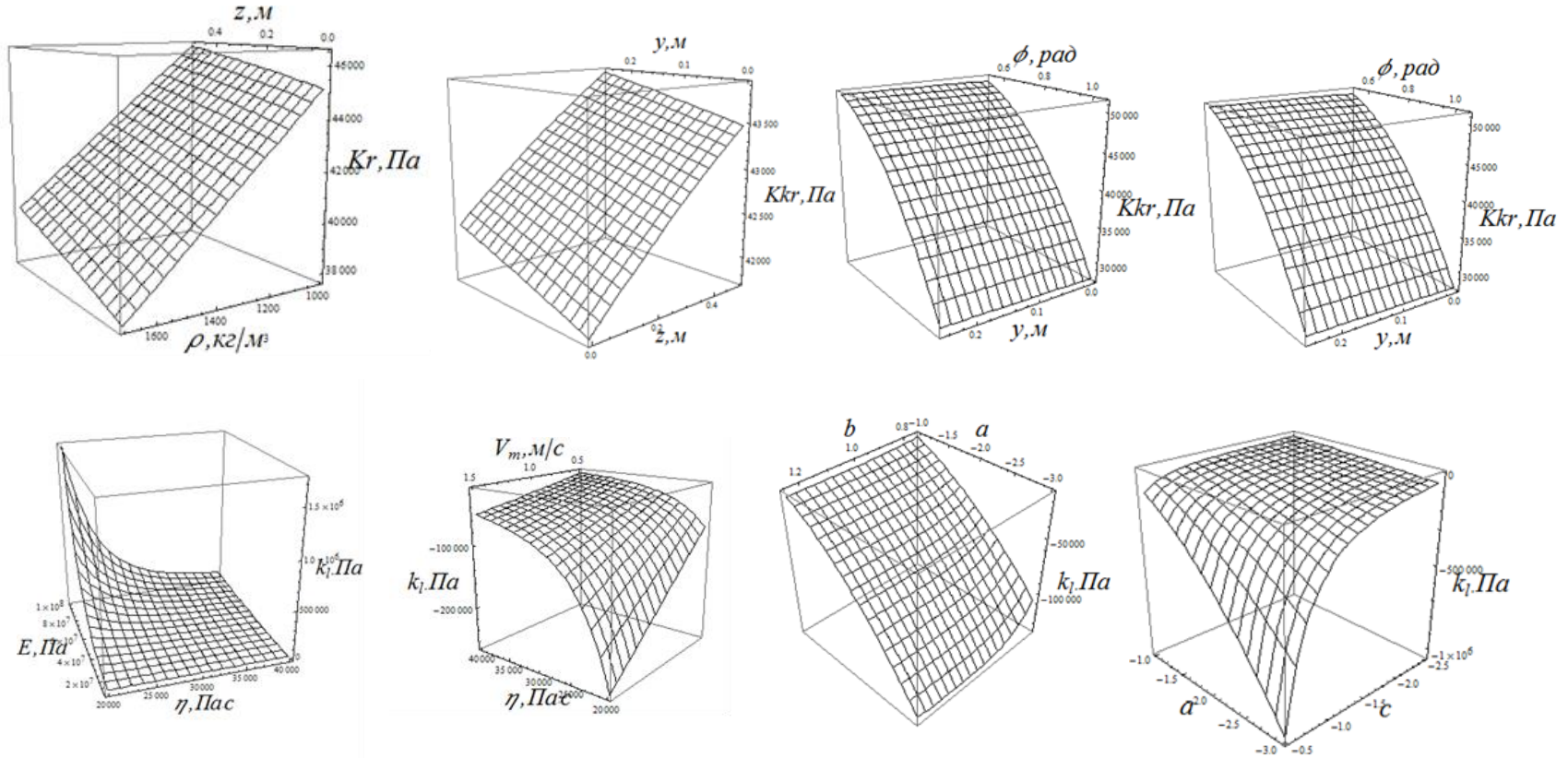
$$k_{kr} = \frac{e^{\frac{z}{b+H \operatorname{tg}[\phi]}} \left( -bg \rho \operatorname{arctg} \left[ \frac{b + H \operatorname{tg}[\phi]}{b + y + H \operatorname{tg}[\phi]} \right] (-1 + \cos[2\phi] + 6\sin[\phi]) - \right.}{(-3 + \sin[\phi])^2} \left. - e^{\frac{z}{b+H \operatorname{tg}[\phi]}} (\tau_0 \cos[\phi](-9 + \sin[\phi]) + bg \rho(-1 + \cos[2\phi] + 6\sin[\phi])) \right)$$

- Гранична напруга створюється у зведенні ґрунту після проходження лемішними частини робочого органу при раціональних параметрах, при цьому визначена по значенням компонент напружень отриманих при аналізі його взаємодії з ґрунтом:

$$k_l = \frac{-3(\sigma_l \sin[\phi] + \tau_0 \cos[\phi])}{-3 + \sin[\phi]}$$

- Графічна інтерпретація наведених залежностей представлена на наступному слайді.

# Графіки критичних напружень в зведенні від тиску ґрунту і граничні напруги, створені лемішними частиною $k_l$



Аналізуючи величини критичних напруг  $K_{kr}$  Створених масою клина ґрунту над площиною, у верхній частині площини, створеної лемішною частиною робочого органу і критичною напругою  $k_i$ , створеним у верхні частині площини лемішною частиною робочого органу. При різних його параметрах і властивостях ґрунту, можна дійти до висновку, що критичні напруги, створені масою ґрунту, не перевищують у більшій частині областей існування параметрів лемеха і властивостей ґрунту критичних напруг, створених лемехом

## Програма експериментальних досліджень

Програмою експериментальних досліджень передбачалось:

- визначення механічних властивостей ґрунту, а саме щільності  $\rho$ ,  $г/см^3$ , модуля пружності  $E$ ,  $Па$ , коефіцієнта в'язкості  $\mu$ ,  $Пас$ , початкової напруги зсуву  $\tau_0$ ,  $Па$ ;
- перевірка адекватності отриманих теоретичних залежностей ущільнення ґрунту конусною або лемішною частинами робочого органу кротовача;
- перевірка адекватності отриманих теоретичних залежностей опору переміщенню робочого органу кротовача;
- перевірка адекватності отриманих теоретичних залежностей протягання зволожувача із протифільтраційним екраном.

## Робочий орган для протягування зволожувача з протягуванням зрошувача з протифільтраційним екраном



Загальний вигляд робочого органу для протягання зрошувача з протифільтраційним екраном, закріпленого до стійки щелеріза.

- 1 – стійка щелеріза;
- 2 – кротовиноутворююча частина;
- 3 – лемішна частина;
- 4 – затискна частина для кріплення протифільтраційного екрана;
- 5 – тяговий провідок для самовстановлення робочого органу.



# Методика виміру тягового опору

Вимірювання тягового опору руху робочого органу проводили за наступною методикою.

На першому етапі визначався тяговий опір  $P_t$  руху стійки щелеріза без закріпленого до неї робочого органу.

Далі визначався сумарний опір руху стійки  $P_t$  із закріпленням до неї робочим органом для утворення порожнини. При цьому опір руху робочого органу для утворення порожнини визначалась як різниця сумарного опору за виключенням опору стійки  $P_{po} = P_s - P_c$ , де  $P_{po}, P_s$  - опір робочого органу і виміряний опір, відповідно.

На наступному етапі проводилось динамометрування системи: стійка з робочим органом і закріпленою трубою зрошувача. При цьому зусилля протягування труби зрошувача визначалось як різниця  $P_t = P_{cc} - P_c$ , де  $P_t, P_{cc}$  - опір протягуванню труби зрошувача органа і вимірюванн опору, відповідно.

На завершальному етапі тензометрування проводилось протягання всего комплекту, який складається із зстійки із закріпленням до неї робочим органом і прикріпленої до неї системи зрошувача у вигляді труби з протифільтраційним екраном, при цьому опір протягання протифільтраційного екрана визначалось як різниця  $P_b = P_{ccc} - P_{cc}$ , де  $P_{ccc}, P_{cc}$  - опір потягуванню всієї системи і опір протягуванню, яке отримано у попередньому експерименті.

Всі виміри опорів проводились у триразовій, тобто мінімально допустимій, повторності. Це пов'язано із великою трудоемкістю і затратністю проведення експериментальних досліджень.

# Загальний вигляд агрегату і способу агрегатування при тензометрування



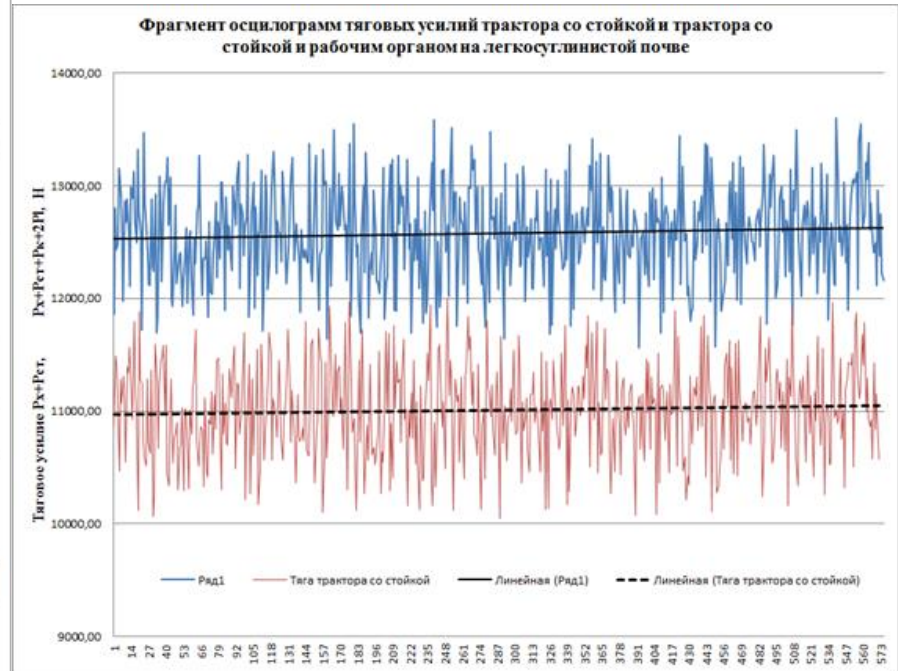
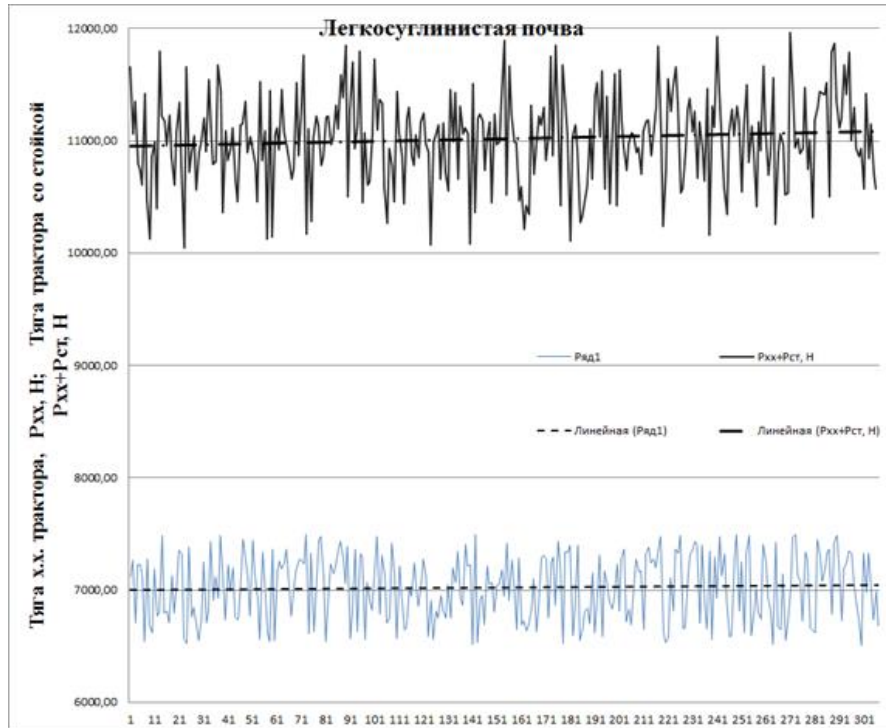


## Загальний вигляд покладеної труби зрошувача з протифільтраційним екраном



# Характерні осцилограми записи тягових опорів на легкосуглинистій грунті

$$\tau_0 = 2000 \text{ Па}, \nu = 0.4, \rho = 1400 \text{ кг} / \text{м}^3, \eta_1 = 3.8 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}, E = 3.63 \cdot 10^7 \text{ Па}, \psi = \pi/4$$



Фрагмент характерних осцилограм тягового опору: 1 – осцилограма тягового опору холостого ходу трактора на буксирі, 2 –  $P_{xx} + P_{cr}$  осцилограма тягового опору трактора на буксирі зі стійкою кріплення робочого органу, рядки 3, 4 – лінійні апроксимації осцилограм (рядок 1 і рядок 2) для легкосуглинистого ґрунту.

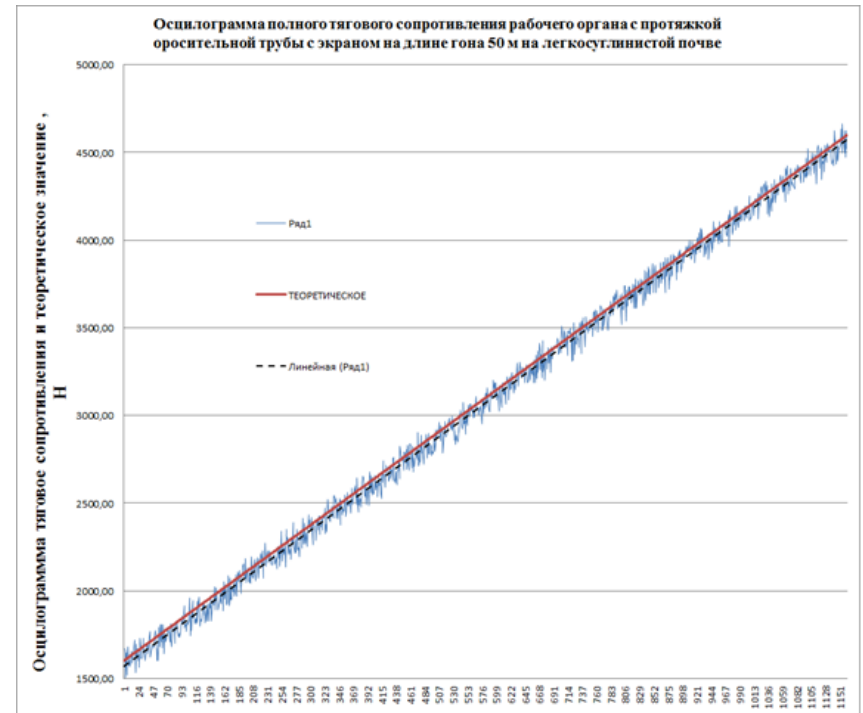
Фрагмент характерних осцилограм тягового опору робочого органу (конусна та лемішна частини): рядок 1 – осцилограма тягового опору холостого ходу трактора на буксирі зі стійкою та робочим органом (конусна та лемішна частини), 2 –  $P_{xx} + P_{cr}$  осцилограма тягового опору трактора на буксирі зі стійкою кріплення робочого органу, рядки 3, 4 – лінійні апроксимації осцилограм (рядок 1 і рядок 2) для легкосуглинистого ґрунту.

# Характерні осцилограми записи тягових опорів на легкосуглинистої ґрунті

$$\tau_0 = 2000 \text{ Па}, \nu = 0.4, \rho = 1400 \text{ кг} / \text{м}^3, \eta_1 = 3.8 \cdot 10^4 \text{ Па с}, E = 3.63 \cdot 10^7 \text{ Па}, \psi = \pi/4$$



Фрагмент характерних осцилограм тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини): ряд 1 – осцилограма тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини), 2 – теоретичне значення тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини), ряд 3 – лінійна апроксимація осцилограми (ряд 1) для легкосуглинистого ґрунту.

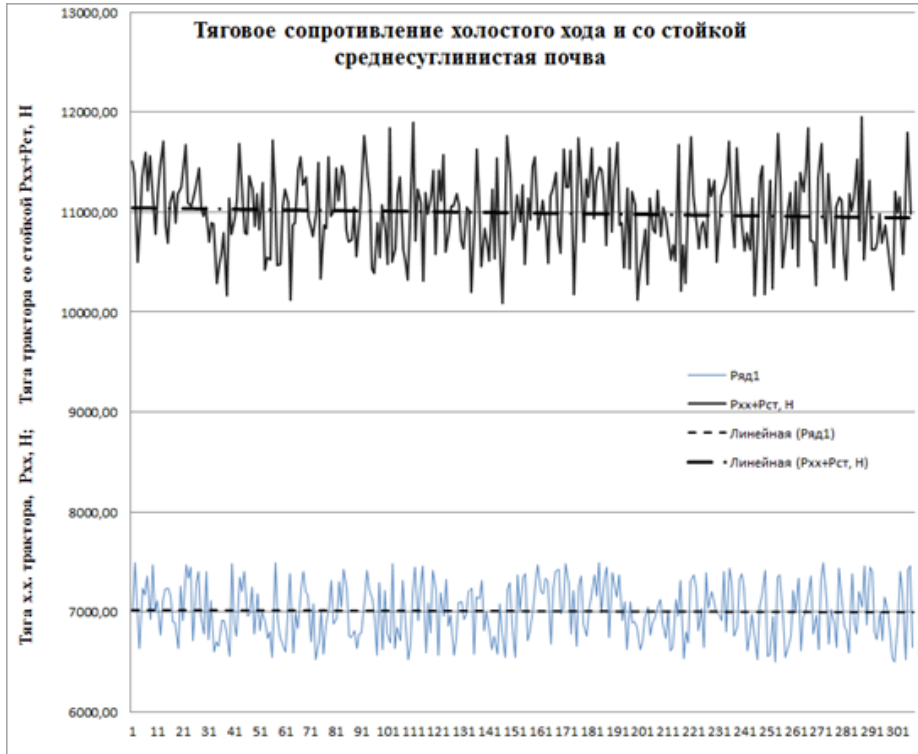


Повний запис тягового опору робочого органу з протяганням зрошувачів труби і протифільтраційного екрану на довжині гону 50 м: рядок 1 – осцилограма, рядок 2 – теоретичне значення опору, рядок 3 – лінійна апроксимація осцилограми 1 для легкосуглинистого ґрунту.



# Характерні осцилограми запису тягових опорів на середньосуглинистому ґрунті

$$E_2 = 7.02743 \cdot 10^7 \text{ Па}, \eta_2 = 45115 \text{ Пас}, \tau_{02} = 4970 \text{ Па}, \rho_s = 1480 \div 1520 \text{ кг / м}^3, \psi = \pi/4$$



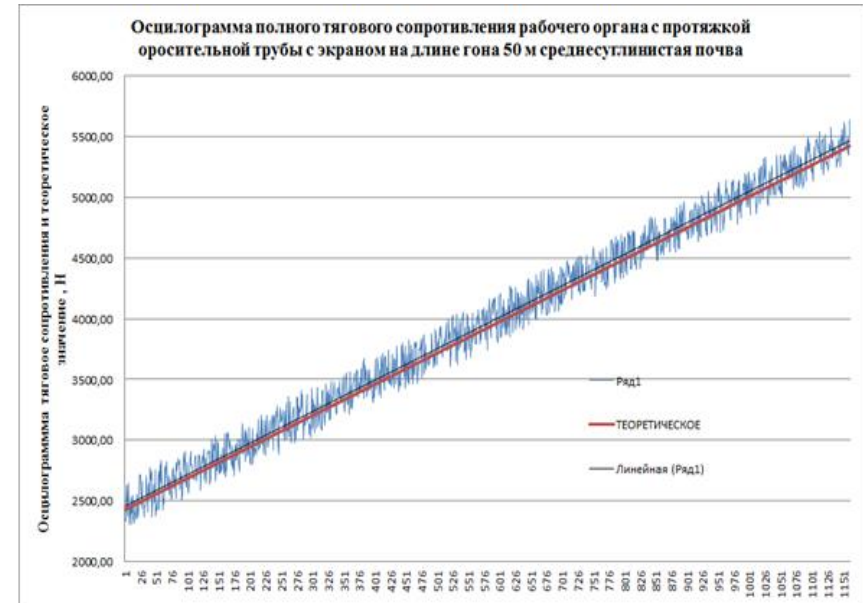
Фрагмент характерних осцилограм тягового опору: рядок 1 – осцилограма тягового опору холостого ходу трактора на бусирі, 2 –  $P_{xx} + P_{cr}$  осцилограма тягового опору трактора на бусирі зі стійкою кріплення робочого органу, рядки 3, 4 – лінійні апроксимації осцилограм (рядок 1 і рядок 2) для середньосуглинистого ґрунту.



Фрагмент характерних осцилограм тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини): ряд 1 – осцилограма тягового опору холостого ходу трактора на бусирі зі стійкою та робочим органом (конусна і лемішна частини), 2 –  $P_{xx} + P_{cr}$  осцилограма тягового опору трактора на бусирі зі стійкою кріплення робочого органу, рядки 3, 4 – лінійні апроксимації осцилограм (рядок 1 і рядок 2) для середньосуглинистого ґрунту.

## Характерні осцилограми запису тягових опорів на середньосуглинистому ґрунті

$$E_2 = 7.02743 \cdot 10^7 \text{ Па}, \eta_2 = 45115 \text{ Пас}, \tau_{02} = 4970 \text{ Па}, \rho_s = 1480 \div 1520 \text{ кг} / \text{м}^3, \psi = \pi/4$$



Фрагмент характерних осцилограм тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини): ряд 1 – осцилограма тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини), 2 – теоретичне значення тягового опору робочого органу (конусна і лемішна частини), ряд 3 – лінійна апроксимація осцилограми (ряд 1) для середньосуглинистого ґрунту.

Повний запис тягового опору робочого органу з протяганням зрошувальної труби і протифільтраційного екрану на довжині гону 50 м: рядок 1 – осцилограма, рядок 2 – теоретичне значення опору, рядок 3 – лінійна апроксимація осцилограми 1 для середньосуглинистого ґрунту.

# Висновки

У ході дослідження проаналізовані оптимальні способи укладання внутрішньогрунтових зрошувальних систем, які дозволили визначити раціональне технічне рішення для їх створення. Вирішені задачі, пов'язані з перебуванням раціональних параметрів і режимів роботи робочого органу для безтраншейного укладання зрошувальної труби разом з протифільтраційним екраном.

Аналіз результатів досліджень поширення рідини в ґрунті за умови загрози засолення ґрунту і в умовах підвищеного випаровування вологи з поверхні ґрунту дозволив зробити висновок про найбільш раціональному способі створення зрошувальних мереж. При цьому на основі проведеного аналізу внутріпочвенного поливу можна зробити висновок про те, що зрошувачі для багаторічних ґлодових насаджень можуть укладатися з кроком до 2 метрів на глибину близько 0,5 метра.

Результати вивчення закономірностей пересування вологи в ґрунті при внутріпочвенного зрошенні дозволяють зробити висновок про те, що найбільшого поширення вологи в перпендикулярному напрямку від осі оросителя буде забезпечуватися за рахунок дифузійного переносу вологи при мінімально можливих процесах фільтрації, які можливі при повному вологонасичення. Це обумовлює необхідність використання проти фільтраційного екрана.

Аналіз способів укладання внутрішньогрунтового зрошувальних систем з протифільтраційним екраном дозволив зробити висновок про відсутність технічних засобів для виконання такої операції безтраншейним способом.

Найбільш адекватним, з точки зору формалізації взаємодії робочого органу для безтраншейного укладання зрошувальної труби разом з протифільтраційним екраном, є уявлення ґрунту як квазісуцільного ізотропного середовища з властивостями пружності і в'язкості.

На основі рішення контактної задачі взаємодії конусної частини робочого органу визначені її раціональні геометричні параметри, які в максимальній мірі ущільнюють стінки утворювати порожнини і забезпечують мінімум опору ґрунту її переміщенню. Так, для більшості ґрунтів за механічними характеристиками найбільш раціональними будуть наступні геометричні параметри конусної частини робочого органу: загострення, радіус підставки конуса,  $d$  - радіус труби зрошувача, при швидкості руху.

На основі рішення контактної задачі взаємодії лемішними частини робочого органу визначені її раціональні геометричні параметри, які в максимальній мірі ущільнюють стінки утвореної порожнини і забезпечують мінімум опору ґрунту її переміщенню. Для більшості ґрунтів за механічними характеристиками найбільш раціональними є такі геометричні параметри лемішної частини робочого органу. Леміш може бути виконаний у вигляді площини з мінімально можливими коефіцієнтами нахилів нормалі до поверхні до осей координат:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - геометричним розміром лемеші, який трохи перевищує полуширину протифільтраційного екрана 0,25 метра, при цьому висота проєкції лемеші на вертикально-поперечну площину в зоні зіткнення з конусною частиною становить величину.

В результаті проведених теоретичних досліджень отримано аналітичні залежності сил опору ґрунту пересуванню робочого органу, які залежать від геометричних параметрів робочого органу, швидкості його переміщення і механічних властивостей ґрунту.

Аналізуючи величини критичних напружень у верхній частині порожнини, утвореної лемішною частиною робочого органу, створених вагою клина ґрунту над порожниною, і критичними напруженнями, створеними у верхній частині порожнини лемішною частиною робочого органу при різних його параметрах і властивостях ґрунту дозволяє судити про те, що верхня частина порожнини є стійкою проти руйнування і не повинна перешкоджати протягуванню проти фільтраційного екрана.

Адекватність отриманих теоретичних залежностей опору переміщенню робочого органу в ґрунті і опорів протягання зрошувальної труби разом з протифільтраційним екраном з результатами експериментальних досліджень на двох типах ґрунтів дозволяє судити про адекватність теоретичних результатів на статистичному рівні значущості.