

**КОНСТРУКТИВНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ
РІШЕННЯ З ВІДНОВЛЕННЯ
СТІЙКОСТІ ЗЕМЛЯНИХ ГРЕБЕЛЬ
ВОДОСХОВИЩ (НА ПРИКЛАДІ
ОРІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА)**

*І.В. Войтович¹, Я.В. Шевчук², О.С. Ігнатова³,
Ю.В. Лімачов⁴, І.В. Бєдний⁵*

¹кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна

e-mail: ¹ivan.v.voytovich@gmail.com, ²yaroslav_shevchuk@ukr.net,

³ignatovaoks@ukr.net, ⁴leman4767@gmail.com, ⁵igotan@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-1543-3955, ²0000-0001-6718-3874,

³0000-0002-2074-4555, ⁴0009-0008-5217-763X, ⁵0009-0007-4034-1423

Надійшла 20.11.2025. Рецензована 05.12.2025. Прийнята до друку 19.03.2026

Мета. Оцінити технічний стан кріплення верхового укусу Орільської земляної греблі, розробити конструктивні та технологічні рішення з відновлення її стійкості. **Методи.** Роботи з визначення технічного стану елементів конструкції греблі виконували у 2024 р. відповідно до Методики проведення натурних обстежень земляних гребель і захисних дамб водогосподарського призначення із застосуванням системного аналізу, розрахункового, експериментального і статистичного методів, методу математичного моделювання, а також візуальних обстежень, фотофіксації, неруйнівних та топогеодезичних досліджень. **Результати.** Дані натурних обстежень свідчать про руйнівні деформаційні процеси, зумовлені дією хвильових і льодових навантажень, насамперед у межах зони коливань рівнів води у водосховищі. Підтверджено, що однією з основних причин руйнування верхового укусу греблі є активізація механічного суфозійного процесу – виносу ґрунту з основи фільтруючого шару пластового дренажу та, як наслідок, просідання кріплення з кам'яного накиду і його сповзання в зону водосховища. Уточнено конструктивні параметри, які забезпечать стійкість і надійність кріплення верхового укусу, зокрема розміри каменю (розрахунковий та найбільший) і товщину накиду. **Висновки.** Запропоновано принципово нове технічне рішення з улаштування кріплення з кам'яного накиду, яке полягає у використанні багатощарової конструкції з різногабаритного каменю, укладеного на геосинтетичний екран, і технологію влаштування цієї конструкції під час виконання робіт із відновлення верхового укусу Орільської земляної греблі. Аналітичними розрахунками підтверджено конструктивні й технологічні параметри, що забезпечують стійкість і надійність берегоукріплення верхового укусу.

Ключові слова: берегоукріплення, деформаційні процеси, земляна гребля, кам'яний накид, механічна суфозія, натурні дослідження, оцінка технічного стану, щепенева основа.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202603-08>

Досвід експлуатації водойм свідчить про недостатню надійність та довговічність використовуваних конструкцій берегоукріплення як укiсного, так i вертикального типу. Пояснюється це тим, що під час проектування та будівництва різного типу конструкцій виконавці не дотримуються нормативних вимог із забезпечення їх стійкості. Комбіноване кріплення укiсів водойм, улаштоване у вигляді укiсно-вертикальної конструкції, має ряд переваг порівняно з класичним кріпленням (кам'яним накидом), побудованим на основі гiдралічних i статичних розрахунків. Така конструкція широко використовується у гiдротехнічному будівництві — зокрема, для кріплення берегів акваторій річкових вузлів, набережних, а також водоскидів, швидкотоків та інших гiдротехнічних споруд.

Нині актуальною є проблема відновлення конструкцій берегоукріплення каскаду дніпровських водосховищ, зруйнованих унаслідок воєнних дій рф в Україні. Досить гостро стоїть питання відновлення та вдосконалення гiдротехнічних споруд із великим терміном експлуатації. До таких споруд належить Орільське водосховище, на якому у 2024 р. були проведені натурні обстеження кріплення верхнього укосу земляної греблі з метою оцінити його технічний стан та розробити технічні рішення щодо відновлення.

Орільське водосховище — руслове водосховище, розташоване у Лозівському р-ні Харківської обл. на річці Орілька (рис. 1). Воно було побудоване у 1981 р. як складова частина каналу Дніпро – Донбас. Водосховище, об'єм якого становить 17,0 млн м³, функціонує як транзитне, забезпечуючи безперебійну

роботу каналу та подачу дніпровської води до Краснопавлівського водосховища.

Гiдровузол водосховища складається з головної греблі на р. Орілька i шлюзового водовипуска на 2 затвори з витратою 350 м³/с. Гребля водосховища однорідна, збудована із суглинку, належить до II класу капітальності. Її довжина разом із водовипускною спорудою становить 1548 м, ширина по гребеню — 10 м, максимальна висота — 4,3 м, відмітка гребеня — 105,30 м, проєктний рівень (нормальний підпертий рівень (НПР)) у верхньому б'єфі — 103,00 м, найбільший об'єм наповнення водосховища — 13,8 млн м³, коефіцієнт закладання верхнього укосу $m = 5$.

Верховий укiс до позначки 105,00 м укріплений накидом із каменю діаметром $d = 150\text{--}250$ мм, а далі, ближче до гребеня греблі, — монолітними залізобетонними плитами товщиною від 20 до 25 см. Низовий укiс закріплений шаром ґрунту, засіяним багаторічними травами. По гребеню греблі проходить автодорога з твердим покриттям. Під час проведення натурних досліджень із метою оцінити технічний стан земляної греблі гiдровузла обстеженню підлягали її тіло та кріплення верхнього укосу — за аналогією до досліджень, що проводилися раніше [1–4].

Мета досліджень — оцінити технічний стан кріплення верхнього укосу Орільської земляної греблі та розробити конструктивні й технологічні рішення з відновлення його стійкості.

Матеріали та методи досліджень. Роботи з оцінювання технічного стану елементів конструкції греблі виконували у 2024 р. відповідно до Методики

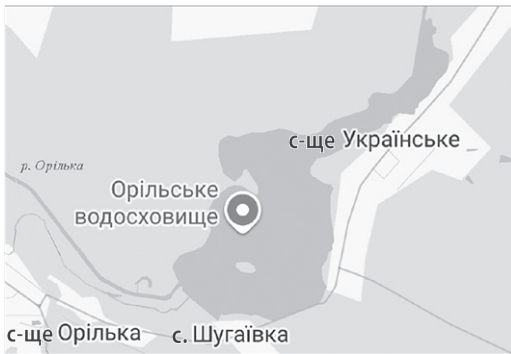


Рис. 1. Ситуаційний план Орільського водосховища

проведення натурних обстежень земляних гребель і захисних дамб водогосподарського призначення із застосуванням візуального обстеження, фотофіксації, неруйнівних і топогеодезичних досліджень [5–7].

Власне, дослідження полягали у виконанні 2 основних завдань:

- аналітичного та системного аналізу конструктивно-технічних рішень щодо кріплення верхового укосу земляної греблі кам'яним накидом;
- статичного розрахунку стійкості та міцності кріплення укосів з урахуванням дії зваженого хвильового навантаження внаслідок інтенсивних експлуатаційних та аварійних змін рівня води у водосховищі.

Для визначення технічного стану кріплення верхового укосу земляної греблі були виконані такі роботи:

- візуальні обстеження технічного стану греблі;
- визначення геометричних параметрів земляної греблі (проведення геодезичної зйомки по її осі);
- детальне оцінювання локальних ділянок руйнування кріплення верхового укосу з кам'яного накиду.

Внаслідок проведення натурних обстежень конструкції кріплення верхового укосу земляної греблі було виявлено низку руйнувань: сповзання залізобетонних плит кріплення по укосу, порушення цілісності конструкції залізобетонного облицювання, розмив кам'яного накиду та щебеневої основи (рис. 2).

Візуальні обстеження технічного стану конструкції кріплення верхового укосу проведено на ділянці греблі довжиною 750 м, від пікета (ПК) 8 + 98 до пікета 16 + 48 (табл. 1).

Топогеодезичні дослідження дали змогу виявити зони руйнування конструкції кріплення та зміни профілю геометричних параметрів земляної греблі. З'ясовано, що відновленню підлягають такі елементи конструкції берегоукріплення, як відсіпка щебеневого шару основи обсягом 1071,96 м³ і кам'яний накид обсягом 1823,67 м³.

Визначені ділянки руйнування кріплення з кам'яного накиду та фігурних бетонних елементів у формі тетраедра, виявлено їх сповзання по укосу, зумовлене дією хвильового навантаження

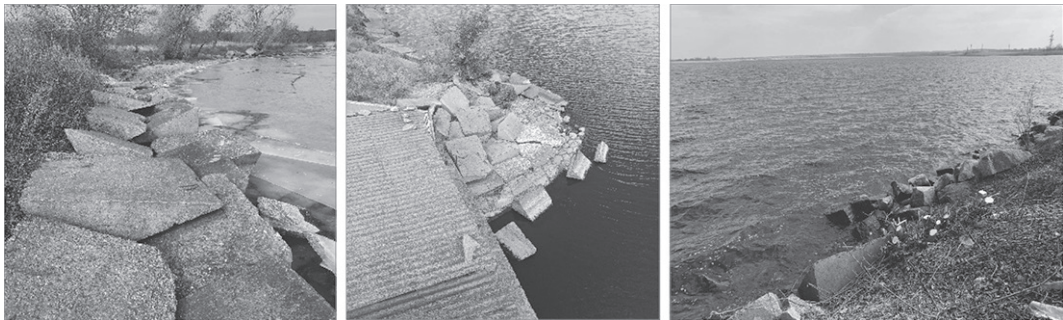


Рис. 2. Характерні руйнування кріплення верхового укосу Орільської земляної греблі

1. Результати обстеження технічного стану конструкції кріплення верхнього укосу Орільської греблі

Ділянка обстеження	Конструкція берегоукріплення			Зруйновано	
	Кам'яний накид, довжина, м	Бетонні блоки, шт	Щебенева основа, м ²	Кам'яний накид, м ³	Щебенева основа, м ³
ПК 8 + 98 – ПК 9 + 23	25	32	9,6 × 0,15	147,38	87,19
ПК 9 + 23 – ПК 9 + 48	25	32	5,9 × 0,15		
ПК 9 + 48 – ПК 9 + 73	25	34			
ПК 9 + 73 – ПК 10 + 23	Водовипускна споруда				
ПК 10 + 23 – ПК 10 + 48	25		14 × 0,15	68,0	40,375
ПК 10 + 48 – ПК 10 + 72	25		7,1 × 0,15	50,0	33,25
ПК 10 + 72 – ПК 10 + 98	25		7,1 × 0,15	50,0	32,81
ПК 10 + 98 – ПК 11 + 23	25		7,1 × 0,15	139,4	66,63
ПК 11 + 23 – ПК 11 + 48	25				
ПК 11 + 48 – ПК 11 + 73	25		5,9 × 0,15	141,13	85,25
ПК 11 + 73 – ПК 11 + 98	25				
ПК 11 + 98 – ПК 12 + 23	25		7,2 × 0,15	177,5	103,5
ПК 12 + 23 – ПК 12 + 48	25				
ПК 12 + 48 – ПК 12 + 73	25		10,8 × 0,15	175,0	102,0
ПК 12 + 73 – ПК 12 + 98	25				
ПК 12 + 98 – ПК 13 + 23	25		10,4 × 0,15	68,38	41,875
ПК 13 + 23 – ПК 13 + 48	25		5,9 × 0,15	140,0	89,75
ПК 13 + 48 – ПК 13 + 73	25				
ПК 13 + 73 – ПК 13 + 98	25		10,8 × 0,15	372,5	221,5
ПК 13 + 98 – ПК 14 + 23	25				
ПК 14 + 23 – ПК 14 + 48	25				
ПК 14 + 48 – ПК 14 + 73	25				
ПК 14 + 73 – ПК 14 + 98	25		12,4 × 0,15	100,63	55,375
ПК 14 + 98 – ПК 15 + 23	25		13,0 × 0,15	98,75	56,25
ПК 15 + 23 – ПК 15 + 48	25		12,0 × 0,15	95,0	56,25
ПК 15 + 48 – ПК 15 + 73	25		12,0 × 0,15		
ПК 15 + 73 – ПК 15 + 98	25				
ПК 15 + 98 – ПК 16 + 23	25				
ПК 16 + 23 – ПК 16 + 48	25				

на кріплення, що впливає на подальше просідання основи кріплення укосу та руйнування тіла греблі.

На основі результатів досліджень запропоновано технічні рішення щодо відновлення конструкції кріплення

2. Ділянки та конструкції кріплення верхнього укосу, що потребує відбудови

Пікети	Ділянка, тип кріплення	Одиниці виміру	Кількість
ПК 8 + 98 — ПК 9 + 73	Блоки бетонні на щебеневій основі (2 ряди)	м	75,0
	Досипка кам'яним накидом	м ³	147,38
ПК 10 + 23 — ПК 10 + 98	Блоки бетонні на щебеневій основі (1 ряд)	м	75,0
	Досипка кам'яним накидом	м ³	1676,29
ПК 11 + 48 — ПК 15 + 48	Кам'яний накид на щебеневій основі	м ³	400,0
	Улаштування упору (блоки ФСБ 24.5.6Т)	шт.	167
	Улаштування основи із щебеню, фракція 20–40 мм	м ³	984,765
	Кам'яний накид	м ³	1676,29

верхнього укосу, визначено ділянки, що потребують відбудови, та об'єми робіт, які необхідно виконати (табл. 2).

Враховуючи причини руйнування кріплення верхнього укосу з кам'яного накиду, запропоновано технічне

рішення, що забезпечує його стійкість та надійність. Йдеться про багатосарову конструкцію з несортованого каменю, в нижній частині якої передбачено прошарок товщиною 15–20 см із дрібно-кам'янистого накиду крупністю

Поперечний переріз ПК 11 + 98

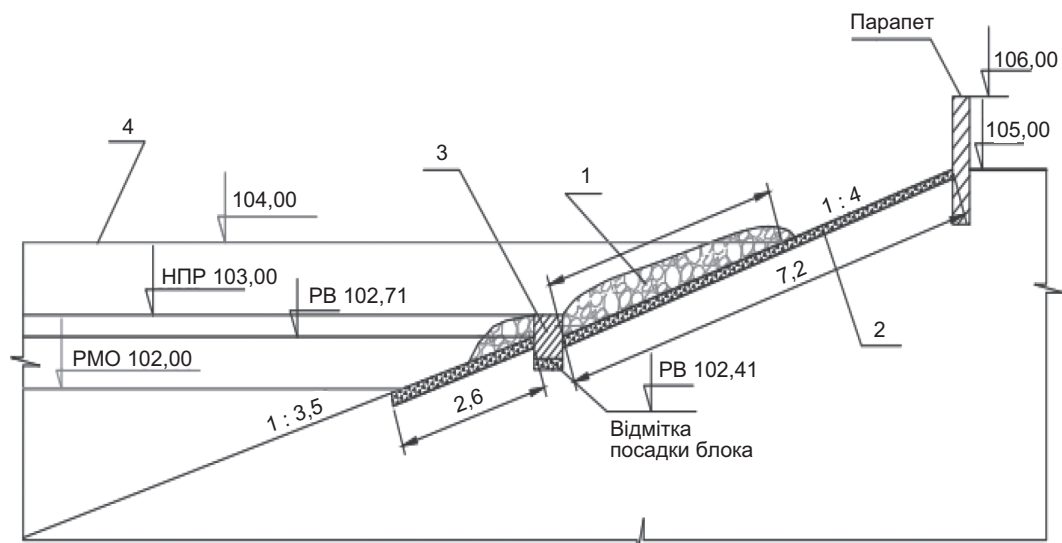


Рис. 3. Схема кріплення верхнього укосу Орільської греблі кам'яним накидом (ПК 11 + 98): 1 – кам'яний накид, $d = 250 - 600$ мм; 2 – щебенева основа товщиною $t = 0,15$ м, $d = 4 - 80$ мм; 3 – бетонний блок $500 \times 580 \times 2380$ мм; 4 – відмітка рівня води, що відповідає дії хвильового навантаження (РВ – рівень води, РМО – рівень мертвого об'єму)

4–80 мм, а також екран із геосинтетичних матеріалів із шаром накиду з крупногабаритного каменю крупністю 250–600 мм, товщиною 0,78–0,82 м (рис. 3).

Параметри запропонованої конструкції кріплення верхового укосу греблі з кам'яного накиду визначені аналітичними розрахунками відповідно до нормативних і методичних документів [8–11]. Для цього було розраховано такі параметри: найменші розміри рваного несортваного каменю, товщину шару накиду за умови дії хвиль, щільність геотекстилю підстиляючого шару, стійкість покриття за руйнівної дії льодового покриву в разі зміни рівнів води та можливого примерзання льоду до кам'яного накиду [11].

Загальну стійкість покриття з кам'яного накиду визначали з урахуванням товщини льодового покриву, що перевищує 80% товщини шару накиду, і товщі льодового покриву понад 1,0 м. У нижній частині покриття з кам'яного накиду передбачено кам'яний упор

у вигляді банкета, який сполучається з нижньою частиною укосу та покриттям дна для захисту їх від розмивання і запобігання порушенню стійкості основи кріплення.

Покриття з крупногабаритного каменю чи щебеню забезпечує захист дна в місці примикання до укосу, що зазнає хвильових дій на глибинах, які перевищують глибину розміщення нижньої межі основного кріплення, визначеної за дотримання умови $H \geq 2h_{1\%}$, де $h_{1\%}$ — висота хвилі 1%-ї забезпеченості за відповідних рівнів води. Нижню межу полегшеного покриття визначено на глибині, де придонні швидкості течії не перевищують розмиваючої швидкості води біля основи кріплення. Розрахунок полягав у визначенні необхідної крупності матеріалу, стійкого за критичних донних швидкостей. Установлено, що діаметр каменю відсипки кріплення має становити не менш як 0,02 м, а товщина кріплення із кам'яного накиду — не менш як 10 діаметрів каменю.

Висновки

Результати натурних обстежень кріплення верхового укосу земляної греблі Орільського водосховища вказують на прояв руйнівних процесів, зумовлених дією хвильових і льодових навантажень у межах зони коливання рівнів води у водосховищі. Підтверджено, що до основних причин руйнування кріплення верхового укосу належать активізація механічної суфозії та винос ґрунту з фільтруючого шару пластового дренажу, що призводять до просідання кам'яного накиду та його сповзання в зону водосховища.

Запропоновано принципово нову конструкцію кріплення з кам'яного накиду, що передбачає багатшарову структуру відсипки основи та

накиду з різногабаритного каменю і геосинтетичний екран, який захищає від механічної суфозії. Розраховано конструктивні та технологічні параметри кріплення, що являє собою багатшарову конструкцію з несортваного каменю, в нижній частині якої передбачено прошарок товщиною 15–20 см із дрібнокам'янистого накиду крупністю 4–80 мм, а також екран із геосинтетичних матеріалів із шаром накиду товщиною 0,78–0,82 м з крупногабаритного каменю крупністю 250–600 мм.

Основні конструктивні рішення щодо влаштування кріплення берегового укосу з несортваного каменю були реалізовані у 2024 р. під

час розробки проєктно-кошторисної документації «Капітальний ремонт земляної греблі Орільського

водосховища з водовипускною спорудою» на об'єкті, розташованому на каналі Дніпро — Донбас.

**Voitovych I.¹, Shevchuk Ya.², Ihnatova O.³,
Limachov Yu.⁴, Bednyi I.⁵**

Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS, 37 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine; e-mail: ¹ivan.v.voytovych@gmail.com, ²yaroslav_shevchuk@ukr.net, ³ignatovaoks@ukr.net, ⁴leman4767@gmail.com, ⁵igotan@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-1543-3955, ²0000-0001-6718-3874, ³0000-0002-2074-4555, ⁴0009-0008-5217-763X, ⁵0009-0007-4034-1423

Design and technological solutions for restoring the stability of earthen dams of reservoirs (on the example of the Orilsk reservoir)

Goal. To assess the technical condition of fixing the upper slope of the Orilsk earthen dam, develop design and technological solutions to restore its stability. **Methods.** The work to determine the technical condition of the dam structural elements was carried out in 2024 in accordance with the Methodology for field surveys of earthen dams and protective dams for water management purposes using system analysis, calculation, experimental and statistical methods, mathematical modeling method, as well as visual surveys, photo fixation, nondestructive, and topographic geodetic surveys. **Results.** The data of field surveys indicated destructive deformation processes caused by the action of wave and ice loads, primarily within

the zone of water level fluctuations in the reservoir. It was confirmed that one of the main reasons for the destruction of the upper slope of the dam was the activation of the mechanical suffosion process — the removal of soil from the base of the filter layer of the formation drainage and, as a result, the subsidence of the mount from the stone cape and its sliding into the reservoir zone. The design parameters that will ensure the stability and reliability of fastening the upper slope, in particular the dimensions of the stone (calculated and the largest) and the thickness of the cape, were clarified.

Conclusions. A fundamentally new technical solution is proposed for the creation of a fastened dam made of stone cape, which consists of a multi-layer structure made of various-sized stone laid on a geosynthetic screen, and the technology for arranging this structure during the restoration of the upper slope of the Orilsk earthen dam. Analytical calculations confirmed the design and technological parameters that ensure the stability and reliability of the protection of the upper slope of the bank.

Key words: *assessment of technical condition, bank protection, crushed stone base, deformation processes, earthen dam, field research, mechanical suffosion, stone cape.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202603-08>

Бібліографія

1. Ковальчук В., Лімахов Ю., Войтович І. Підходи до оцінювання стійкості споруд берегоукріплення водойм: аналіз конструкцій і моделей їх розрахунку. *Меліорація і водне господарство*. 2024. № 1. С. 124–131. doi: 10.31073/mivg202401-376

2. Войтович І.В., Козицький О.М., Ігнатова О.С. та ін. Оцінка технічного стану ґрунтової греблі Краснопавлівського водосховища. *Меліорація і водне господарство*. 2025. № 1. С. 98–108. doi: 10.31073/mivg202401-376

3. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106902

4. Войтович І.В., Брюзгіна Н.Д., Шевчук Я.В. та ін. Улаштування протифільтраційних екранів із застосуванням геосинтетичних матеріалів. *Аграрна наука — виробництву*. 2024. № 2. С. 29.

5. *Методика* проведення натурних обстежень земляних гребель і захисних дамб водогосподарського призначення: посіб. до ВБН 13.2.4-33-2.3-2000 «Регулювання русел річок. Норми проектування». Київ, 2005. 30 с.

6. *Войтович І.В., Музика О.П., Шевчук Я.В.* та ін. Методичні підходи до визначення критеріїв оцінювання і вибору конструкцій протифільтраційних екранів водойм. *Меліорація і водне господарство*. 2022. Вип. 2. С. 81–89. doi: 10.31073/mivg202202-334

7. *Яцюк М., Войтович І., Лімачов Ю.* Техніко-економічне обґрунтування відновлення захисних споруд Каховського водосховища. Збірник тезисів XII міжнарод. наук.-практ. конф. «Вода для миру» (м. Київ,

21 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 192–195. doi: 10.31073/mivg2024

8. *ДБН В.2.4-3:2010*. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 11.01.2010 р. № 1 та від 29.07.2010 р. № 287. Київ: Мінрегіонбуд, 2010.

9. *ДБН В.2.4-20:2014*. Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59531

10. *Хлапук М.М., Шинкарук Л.А., Дем'янюк А.В., Дмитрієва О.А.* Гідротехнічні споруди: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2013. 242 с.

11. *ВБН В.2.4-33-2.3-03-2000*. Регулювання русел річок. Норми проектування. https://dnaop.com/html/40596/doc-%D0%92%D0%91%D0%9D_%D0%92.2.4-33-2.3-03-2000