

УДК 624.21:625.745.1

© А. С. Литвиненко, інженер шляхів сполучення

ПРО АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ КІЛЬКОСТІ РЕЙСІВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ҐРУНТУ ЗА ЙОГО ВАГОЮ І ОБ'ЄМОМ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ДОРОЖНІХ НАСИПІВ

Анотація. *Дається обґрунтування алгоритму і приклади розрахунку кількості рейсів машин для перевезення ґрунту за вагою й об'ємом при спорудженні будь-якого дорожнього насипу, ґрунтової греблі та інших інженерних ґрунтових споруд.*

Ключові слова: *ґрунт насипу, ґрунт кар'єру, ґрунт кузова, об'єм кузова, вантажопідйомність машин.*

Аннотация. *Дается обоснование алгоритма и примеры расчета количества рейсов машин для перевозки ґрунта по весу и объему при сооружении любой дорожной насыпи, почвенной плотины и других инженерных ґрунтовых сооружений.*

Ключевые слова: *ґрунт насыпи, ґрунт карьера, ґрунт кузова, объем кузова, грузоподъемность машин.*

Abstract. *Validation of the algorithm and examples of the calculation of the vehicles rides number for the transportation of soil by weight and volume at the construction of any design volume of road embankment, soil dam and other engineering soil structures are presented in the study.*

Keywords: *soil of embankment, soil of quarry, soil of body, body's volume, load carrying capacity of vehicles.*

ВСТУП

До сьогодні для замовників і підрядчиків перевезень, для проектувальників і органів фінансового контролю певною проблемою (через відсутність конкретних рекомендацій як у нормативних документах, так і в науково-виробничій літературі) залишається розрахунок кількості рейсів машин через вагу і об'єм ґрунту, який вони перевозять, що досить суттєво впливає на вартість перевезень, особливо при великих обсягах і відстані.

Це пов'язано передусім з тим, що згадані суб'єкти будівельного бізнесу (і не лише в Україні) ще не дуже добре усвідомлюють всі зміни значень показників об'ємної маси ґрунту, які відбуваються в процесі його екскавації й навантаження в машини у кар'єрі та при ущільненні в тілі ґрунтової споруди [1; 2; 3].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Отже, під час здійснення розрахунку кількості рейсів машин будь-якої марки передусім необхідно правильно визначити середнє значення густини (об'ємної маси) сухого ґрунту ρ_d т/м³, яка повинна бути в тілі насипу згідно з проектом і за перевезення загальної маси якого, а не води у ньому, і проводиться оплата транспортної роботи.

Водночас саме цій густині сухого ґрунту надалі (при можливому додатковому водонасиченні ґрунту в процесі експлуатації) відповідає певне розрахункове значення модуля пружності ґрунту. Бо як справедливо зазначив ще у 1820 році Л. Макадам [4, С. 32]: "только естественный ґрунт воспринимает давление от проходящих транспортных средств, конструктивные слои покрытия только распределяют нагрузку, на большую площадь ґрунтового основания...". Таким чином жодне зважування великовагових автомобілів на дорогах не може забезпечити

їх (доріг) нормальну роботу, якщо ґрунт земляного полотна не ущільнений до відповідних вимог. Більше того, наявність великої кількості зважувальних пристроїв на дорогах свідчить не стільки про турботу за їх експлуатаційний стан, скільки про недостатнє ущільнення ґрунтів у процесі будівництва і незадовільний стан дорожньої мережі країни загалом, і не тільки в Україні.

На рис. 1, у вигляді нормального статистичного розподілу на чотирьох шкалах абсцис показані всі необхідні для аналізу показники ущільненості ґрунту, а саме:

густина сухого ґрунту ρ_d т/м³; коефіцієнта ущільнення $K_{ущ} = \rho_d / \rho_{d \max}$ (відношення фактичної густини сухого ґрунту до визначеної за стандартним ущільненням [5], яку прийнято за одиницю); середнього квадратичного відхилення значень густини сухого ґрунту σ_{ρ_d} т/м³ (нульове значення якого збігається із середнім значенням ρ_d т/м³) і коефіцієнта ущільненості за В. А. Приклонським – K_d , од. [6, С. 207], де $K_d = 1.0$ відповідає густині сухого ґрунту на межі розкочування – $\rho_d \omega_p$.

Варто зауважити, що згідно з усіма чинними нині і раніше нормативними документами показник $\rho_{d \max}$ ніколи не був середнім значенням нормальних статистичних розподілів при контролі якості ущільнення ґрунтів. Він міг бути тільки одним із декількох найменших значень $\rho_{d \min}$ [7, С. 19; 8, С. 22], менше якого, зазвичай, могло бути не більше 5-10 % всіх можливих значень $\rho_{d \min}$, виміряних у процесі контролю якості (приміром, під час контролю якості ущільнення ґрунтів у робочому шарі доріг першої категорії). Та для доріг нижчих категорій цей показник $\rho_{d \min}$ міг бути ще меншим, наприклад: $0.98 \rho_{d \max}$; $0.95 \rho_{d \max}$; $0.90 \rho_{d \max}$, що дуже негативно відбилосся на стані всієї дорожньої мережі України вже в наш час. **Також будь-який нормативний документ**

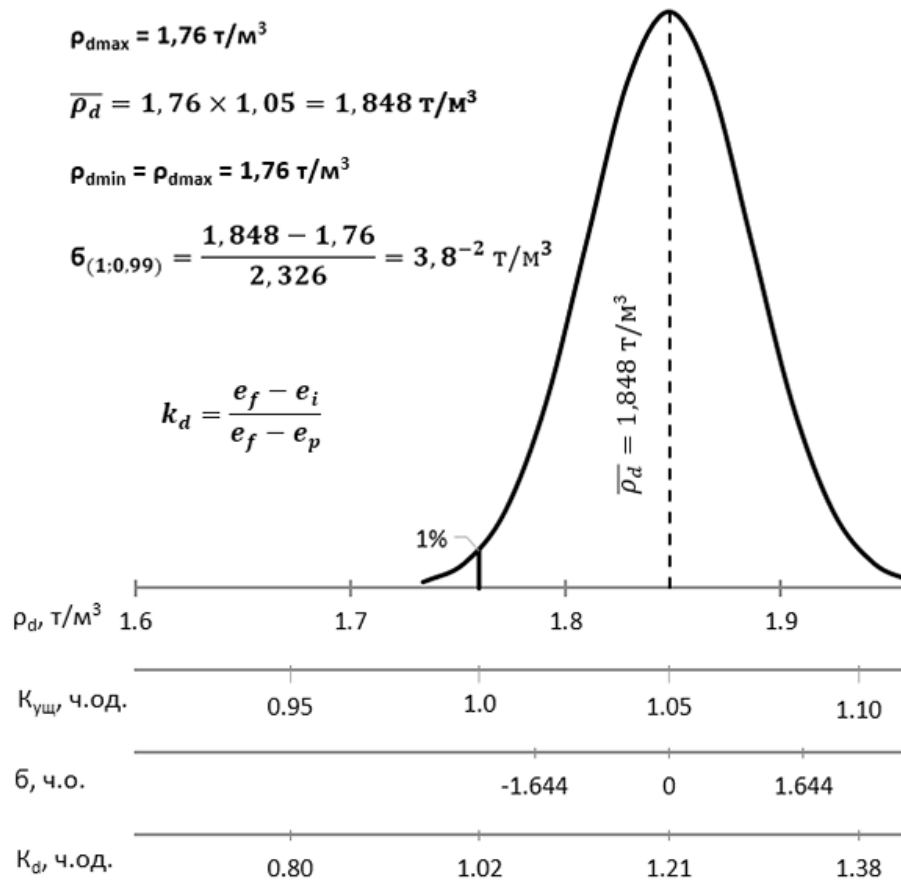


Рис. 1. Типовий розподіл значень ущільненості ґрунту при контролі якості

ніколи не регламентував ні середнього значення відповідного нормального статистичного розподілу, ні середнього квадратичного відхилення такого розподілу. Це було і є найсуттєвішим недоліком як усіх колишніх, так і чинних нормативних документів у галузі будівництва автомобільних доріг і контролю якості ущільнення ґрунтів.

Із рис. 1 видно, що для того, щоб ґрунт працював хоча б у межах псевдопружного (квазіпружного) стану коефіцієнт ущільнення в середньому повинен був бути більше одиниці, що відповідає твердому стану ґрунту. Згідно зі значеннями коефіцієнта ущільненості K_d густина сухого ґрунту повинна бути більшою за густину сухого ґрунту на межі розкочування:

$$\rho_d \geq \rho_{dmax} \geq \rho_{d\omega p} \quad (1)$$

На рис. 2 показано типовий статистичний розподіл значень вологості при ущільненні ґрунтів у процесі спорудження насипів, в їх робочому шарі. Тут також приведено чотири шкали абсцис для різного вираження вологості. Перша шкала відповідає абсолютним значенням вологості ґрунту – ω , %. На другій – представлені значення вологості відносно так званої оптимальної вологості або коефіцієнта зволоження – ω/ω_0 . На третій – ці ж вологості представлені у вигляді середніх квадратичних

відхилень вимірних значень вологості – σ , ω , %. Як і для густини сухого ґрунту, це важливо для статистичної оцінки і порівняння якості ущільнення ґрунтів. І врешті-решт на четвертій шкалі абсцис – ці ж вологості у значеннях показника текучості I_L , од. Основний висновок, який випливає із аналізу значень шкали I_L , полягає в тому, що при ущільненні зв'язних ґрунтів вони повинні перебувати у твердому стані, а значить їх вологість при ущільненні в середньому повинна бути меншою за вологість на межі розкочування – ω_p .

Також вже давно відомо [9, С. 30, 37; 10, С. 20] і навіть зафіксовано в нормативних документах [7, С. 50; 8, С. 24], що ґрунти в кар'єрах (резервах) зазвичай є більш пористими ніж повинні бути в насипу після їх ущільнення. У природному заляганні густина сухого ґрунту переважно більшої зв'язних ґрунтів є меншою за їх густину сухого ґрунту на межі розкочування, а у деяких з них (леси, стрічкові глини) є навіть меншою за їх густину сухого ґрунту на межі текучості – ω_L . У нормативних документах [8, С. 24] це знайшло відображення у вигляді коефіцієнта відносного ущільнення:

$$K_1 = \rho_{dmax} * K_{уцц} / \rho_{dкар} \quad (2)$$

де $\rho_{dкар}$ – середня густина сухого ґрунту в кар'єрі.

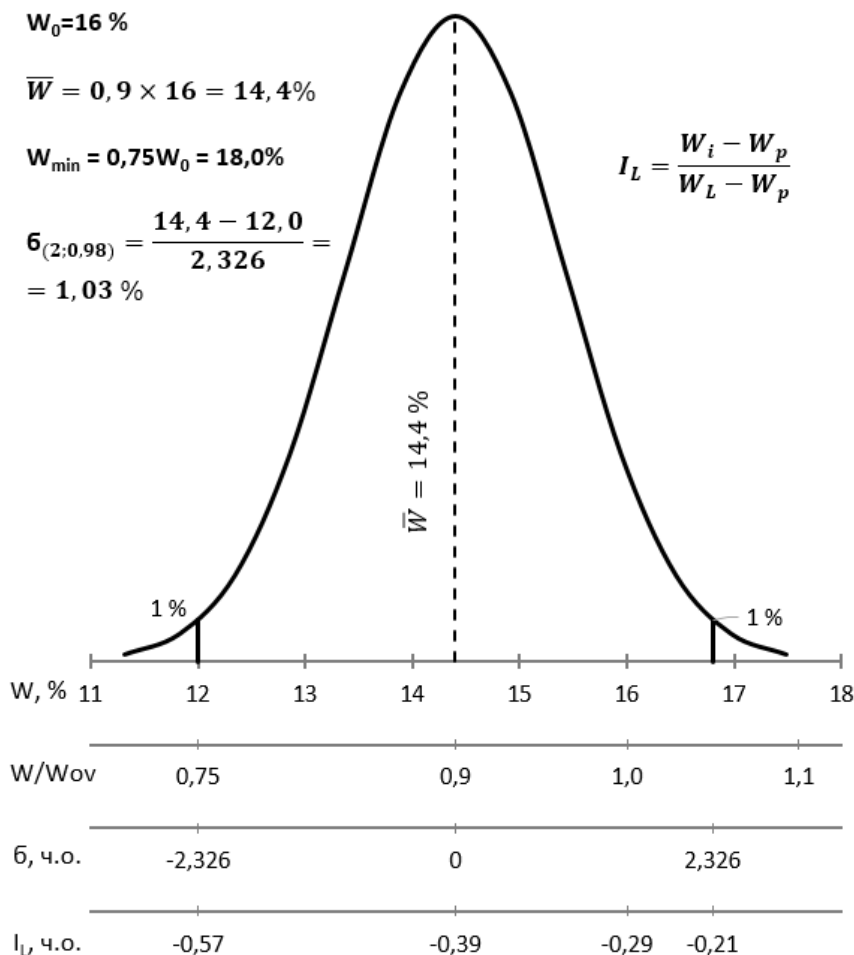


Рис. 2. Типовий статистичний розподіл значень показників вологості при ущільненні ґрунтів у процесі спорудження насипів

Розрахунок завжди здійснюється за кількістю сухого (без води) матеріалу. Таким чином для звичайних дрібнозернистих ґрунтів зазвичай $K_1 \geq 1.0$, а для скельних, які в природі залягають більш щільно, ніж їх можна укласти в насип, – $K_1 < 1.0$. Тому потрібний об’єм ґрунту в кар’єрі визначається за формулою:

$$V_{\text{кар}} = K_1 * V_{\text{нас}}, \quad (3)$$

де $V_{\text{нас}}$ – проектний об’єм насипу.

Однак там (у нормативних документах) первинно був прийнятий неправильний постулат [8, С. 22], згідно з яким здійснюється порівняння середнього значення густини сухого ґрунту в кар’єрі із потрібним (найменшим [8, С. 22] значенням густини сухого ґрунту в насипу):

$$\rho_{d \min} = \rho_{d \max} * K_{\text{ущ}}, \quad (4)$$

де $K_{\text{ущ}} \leq 1.0$, тоді як його необхідно було порівнювати із середнім значенням густини сухого ґрунту в насипу:

$$\rho_d = \rho_{d \max} * K_{\text{ущ}}, \quad (5)$$

де $K_{\text{ущ}} \geq 1.0$, щоб мати якісне і довговічне земляне полотно, на яке й у майбутньому не будуть

впливати будь-які, чи то реальні, чи то фейкові, перевантаження транспорту і яке практично не залежить від можливого перезволоження через відсутність у такому добре ущільненому ґрунті як фільтрації води, так і води у вигляді пари. Причому це однаковою мірою стосується не тільки сучасного рівня будівництва автомобільних доріг, а й усіх попередніх десятиліть, починаючи з п’ятдесятих років двадцятого століття, і що в принципі в основному виконувалось в інших країнах, тобто за межами колишнього СРСР [11, С. 151].

Таким чином чинні нормативні документи, як і попередні, не тільки занижують (зменшують) об’єм ґрунту в кар’єрі, необхідний для спорудження насипів, але і негативно впливають на якість будівництва земляного полотна автомобільних доріг, занижують вимоги (через нижчий коефіцієнт) до якості ущільнення ґрунтів у процесі будівництва. Тепер скільки б не контролювали вагу автомобілів, шляхом їх зважування на дорогах, переважну кількість старих доріг врятувати все одно не вдасться, а добре ущільнене земляне полотно, зокрема у виїмках, може витримувати і більшу вагу.

Також вже дуже давно відомо [9, С. 49; 12, С. 65], що в процесі екскавації ґрунтів будь-яким типом землерийних машин відбувається руйнування їх природної структури у кар'єрі (резерві) внаслідок чого вони, незважаючи на і так невелику густину сухого ґрунту в природному заляганні, ще більше розпушуються, тобто набувають ще меншої густини сухого ґрунту і займають ще більше місця (об'єму) вже в кузові самоскида. Це навіть враховують більшість формул для розрахунку продуктивності роботи того чи того землерийного механізму (машини) [13, С. 90, 101, 104]. Водночас щодо продуктивності роботи автотранспорту, який працює разом із екскаватором, такої однаковості в спеціальній літературі немає. Наприклад, в [13, С. 103] у формулі для розрахунку продуктивності транспортних засобів, які працюють з екскаватором входить тільки параметр q , τ – вантажопідйомність транспортних засобів. Хоча у формулі для розрахунку продуктивності самого екскаватора [13, С. 114] згадується і про коефіцієнт розпушування і навіть наводяться його можливі значення для різних видів ґрунтів. Одночасно для збільшення продуктивності транспортних засобів, через неповне використання їх вантажопідйомності рекомендується додаткове збільшення об'єму кузова, шляхом збільшення висоти їх бортів.

Деяко інакше це питання інтерпретується в роботі [14, С. 155], де у формулі для розрахунку продуктивності автомобілів-самоскидів одночасно використовується і вантажопідйомність – q , τ і коефіцієнт використання вантажопідйомності – K_T , а також рекомендується враховувати кратність кількості ковшів екскаватора об'єму кузова автомобіля при навантаженні. Такий підхід зберігається і зараз. Так, наприклад, у роботі [15, С. 130] при розрахунку **продуктивності роботи екскаватора** згадується про коефіцієнт розпушування ґрунту – K_p і наводяться його певні значення для різних груп ґрунтів. Одночасно при розрахунку **продуктивності транспортних засобів** згадується тільки про їх вантажопідйомність – q , τ , а про врахування додаткового розпушування не йдеться.

Порівнюючи продуктивність різних ґрунто-ріжуче-навантажувальних машин, наприклад, грейдер-елеватора [13, С. 90], з іншими подібними машинами, при розрахунку навантаження ґрунту в транспортний засіб, хоча б опосередковано згадується про ємність цього засобу – q , m^3 та про коефіцієнт розпушування – K_p .

Під час розрахунку продуктивності роботи таких ріжучих периметрів, як ковші скрепера чи екскаватора, зрозуміло, що тут відбувається розпушування ґрунту як у процесі власне різання, так і вивантаження ґрунту. Тому можна припустити, що коефіцієнти розпушування, які наводяться у відповідних формулах продуктивності, стосуються вже всього циклу різання-вивантаження. Однак скрепер не має посередника, бо сам перевозить ґрунт, розпушений ще на стадії різання. У процесі навантаження ґрунту

екскаватором відбувається додаткове розпушування в результаті падіння ґрунту в кузов, що збільшує його об'єм у кузові.

Із другого боку, процес розпушування ґрунту перед його ущільненням у тілі насипу є дуже позитивним явищем оскільки дає змогу отримувати одноріднішу за вмістом великих грудок ґрунтового масу. Так, для переважної більшості зв'язних ґрунтів, після доставки на об'єкт, їх варто було б не тільки розрівняти бульдозером чи грейдером, перед ущільненням, а ще й додатково розпушити дорожньою фрезею в укладеному і одним проходом котка прикатаному шарі. Це забезпечує краще однорідне ущільнення ґрунту в насипу, що дуже важливо в процесі експлуатації дороги.

Як видно з викладеного, питання врахування ступеню розпушування ґрунту перед його потраплянням до кузова автомобіля є досить складним і неоднозначним, щоб можна було обмежитись лише якимось одним коефіцієнтом. До того ж нішня вартість пального і значне збільшення дальності перевезень ґрунтів при спорудженні насипів, змушує зважати на фінансовий аспект питання. **Тому необхідно відмовитися від усіх раніше запропонованих у літературі загальних значень коефіцієнтів розпушування ґрунтів, використання яких має суто теоретичний характер і до того ж дуже велику корупційну складову, і перейти до безпосереднього прямого визначення густини сухого ґрунту в кузові автомобіля при оцінці вартості перевезення ґрунтів.**

Це можна здійснити двома способами. У першому – необхідно час від часу робити контрольні зважування спочатку порожнього автомобіля, а потім завантаженого ґрунтом дорогою з кар'єру, для кожного конкретного виду ґрунту і його стану в кар'єрі та наявних у підрядчика автомобілів. Якщо ж у кар'єрах таких великих вагів немає, то вони є в багатьох районах на елеваторах, цукрових заводах чи подібних підприємствах. За різницею ваги порожньої та навантаженої машини і відомої вологості не складно розрахувати вагу вологого і сухого ґрунту. Зокрема і при навантаженні машин “з горою”, яка навіть для найбільших машин марки Volvo 420 FM12 не перевищує $3 m^3$. Однак у технічних документах як самоскидів, так і подібних до них транспортних засобів завжди є інформація і про вантажопідйомність, і про об'єм кузова, і про вагу порожньої машини, які, до речі, завжди досить добре збалансовані щодо об'ємної густини ґрунту в кар'єрі [16, С. 230, 232].

У другому випадку ріжучим кільцем об'ємом $500-800 cm^3$ не складно здійснити два-три виміри густини вологого ґрунту в кузові, а врахувавши його вологість, визначити і густину сухого ґрунту.

І в першому, і в другому випадках необхідно скласти акт підписаний обома сторонами договору на виконання перевезень. Ретельне ведення всієї

виробничої документації є запорукою успішного захисту своїх інтересів у майбутньому. На основі цих даних можна не тільки фіксувати весь процес виконання робіт, а за необхідності ефективно відстоювати свої інтереси у судах. У будь-якому разі, у своїх же інтересах підрядчик власною лабораторією повинен забезпечувати визначення таких технологічних параметрів як: досягнута густина сухого ґрунту в насипу (контроль якості) та густина сухого ґрунту і його вологість в кузові автомобіля. Також як технічний контроль, для кожного виду ґрунту і для кожного кар'єру (резерву) визначати густину сухого ґрунту і його вологість в кар'єрі, та визначати для типових ґрунтів "найбільшу" стандартну густину сухого ґрунту і його "оптимальну" вологість за чинним нормативним документом.

І повертаючись врешті-решт до алгоритму розрахунку кількості рейсів машин необхідно зазначити, що він є таким же простим як і при визначенні об'єму кар'єру. Тільки тепер необхідно прорахувати, так би мовити, загальний об'єм розпушеного ґрунту. Для цього спочатку визначається коефіцієнт загального, остаточного розпушування ґрунту для кузова:

$$K_2 = \bar{\rho}_{d \text{ нас}} / \bar{\rho}_{d \text{ куз}} \quad (6)$$

Потім загальний об'єм розпушеного ґрунту:

$$V_{\text{роз}} = V_{\text{нас}} \cdot K_2 \quad (7)$$

За необхідності використання ґрунтів різних видів і станів K_2 визначається для кожного з них окремо. І нарешті визначається кількість рейсів за об'ємом розпушеного ґрунту:

$$n = V_{\text{роз}} / V_{\text{куз}} \quad (8)$$

Об'єм кузова можна враховувати як за паспортом машини, так і "з горою".

Розглянемо декілька прикладів розрахунку кількості рейсів різних марок машин і для різного стану ґрунтів у різних кар'єрах. Для цього звернемося до одного із типових паспортів ґрунтів, як показано на **рис. 3**, і якими вони повинні бути реально для кожного ґрунту. Це необхідно для того, що візуалізація будь-якого явища або процесу допомагає значно кращому розумінню і сприйняттю як самого процесу, так і стану ґрунтів при їх укладанні й ущільненні в насипу, а відповідно і при перевезенні до місця робіт. Розрахунки виконано для 1000 м³ готового насипу, тобто в щільному тілі. Для інших можливих об'ємів всі результати збільшуються пропорційно цим об'ємам.

Згідно з **рис. 3** маємо "найбільшу" стандартну густину сухого ґрунту $\rho_{d \text{ max}} = 1,76 \text{ т/м}^3$ і "оптимальну" вологість $\omega_0 = 16,0 \%$. Середнє значення густини сухого ґрунту в насипу при коефіцієнті ущільнення $K_{\text{ущ}} = 1,05$ буде $\bar{\rho}_{d \text{ нас}} = 1,848 \text{ т/м}^3$ (**рис. 1**) при середній вологості $\bar{\omega}_{\text{нас}} = 14,4 \%$ (**рис. 2**). Тоді об'ємна вага вологого ґрунту в насипу $\rho_{\text{нас}} = 1,848 \cdot (1 + 0,144) = 2,144 \text{ т/м}^3$, а загальна вага ґрунту для 1000 м³ – $P_{\text{нас}} = 2144,0 \text{ т}$.

Лесовий ґрунт у кар'єрі має густину сухого ґрунту $\bar{\rho}_{d \text{ кар}} = 1,38 \text{ т/м}^3$ і вологість $\omega 14 \%$. Після навантаження у кузов автосамоскида густина сухого ґрунту дорівнює $\bar{\rho}_{d \text{ куз}} = 1,28 \text{ т/м}^3$. Тоді $K_1 = 1,848 / 1,38 = 1,34$, а об'єм кар'єру потрібний для спорудження 1000 м³ насипу повинен становити $V_{\text{кар}} = 1000 \cdot 1,34 = 1340 \text{ м}^3$. Водночас коефіцієнт розпушування при перевезенні ґрунту $K_2 = 1,848 / 1,28 = 1,44$, а об'єм розпушеного ґрунту при перевезенні $V_{\text{розн}} = 1000 \cdot 1,44 = 1440 \text{ м}^3$.

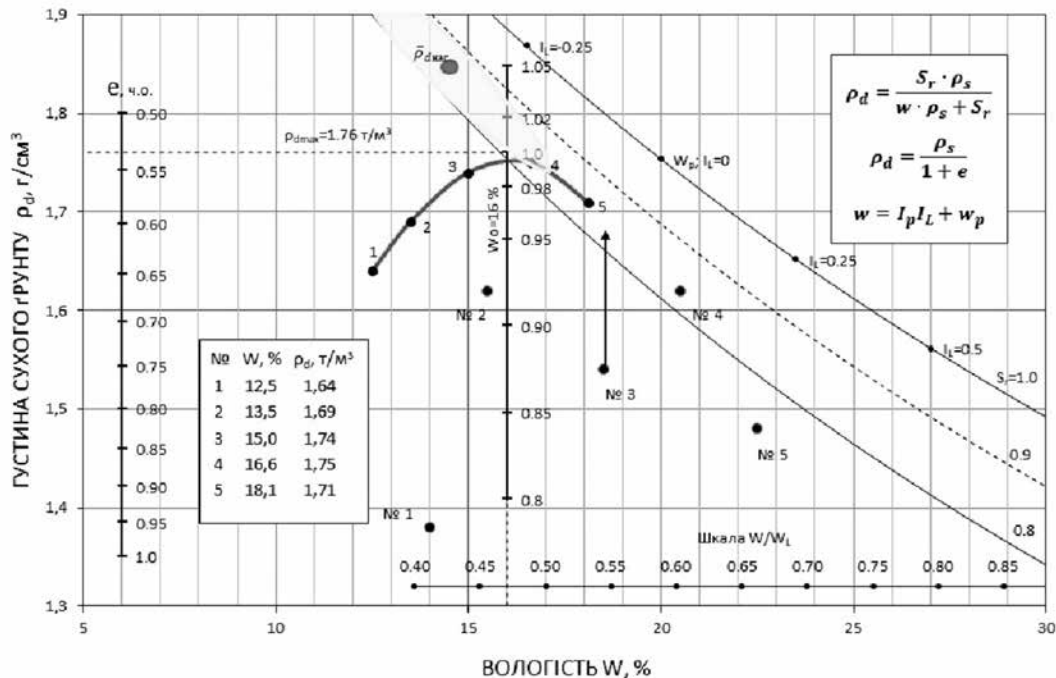


Рис. 3. Технічний паспорт ґрунту. Суглинок легкий пилуватий: $\rho_s = 2,70 \text{ г/см}^3$ $W_L = 34 \%$ $W_p = 20 \%$ $I_p = 14$

Об'ємна вага ґрунту в кар'єрі $\rho_{\text{кар}} = 1,38 \cdot (1+0,14) = 1,573 \text{ т/м}^3$, а об'ємна вага розпушеного ґрунту $\rho_{\text{роз}} = 1,28 \cdot (1+0,14) = 1,459 \text{ т/м}^3$.

Тоді загальна потрібна вага ґрунту в кар'єрі $P_{\text{кар}} = 1,573 \text{ т/м}^3 \cdot 1340 \text{ м}^3 \approx 2108 \text{ т}$. Де $2144 - 2108 = 36 \text{ т}$ – кількість води, потрібна для дозволення ґрунту в процесі ущільнення ($\bar{\omega} = 14,4\% > 14\%$). Одночасно загальна вага ґрунту перевезеного автотранспортом $P_{\text{розп}} = 1,459 \text{ т/м}^3 \cdot 1440,0 \text{ м}^3 \approx 2108 \text{ т}$.

Прийmemo, що ґрунт перевозять автосамоскидами марки Volvo 420 FM 12 вантажопідйомністю 33 т з об'ємом кузова 18 м³ ($P/V = 33,0/18,0 = 1,83 \text{ т/м}^3 > 1,459 \text{ т/м}^3$).

Тоді для перевезення ґрунту при густині та вологості, що відповідає стану ґрунту в насипу, необхідно:

а) при розрахунку за вантажопідйомністю $n = 2144/33 = 65$ рейсів;

б) при розрахунку за об'ємом ущільненого ґрунту $n = 1000/18 = 56$ рейсів.

Для перевезення природного ґрунту при вологості та густині у кар'єрі:

а) при розрахунку за вантажопідйомністю: $n = 2108,0/33,0 = 64$ рейси;

б) при розрахунку за об'ємом: $n = 1340,0/18,0 = 74$ рейси.

Для перевезення ґрунту при його густині та вологості у кузові:

а) при розрахунку за вантажопідйомністю: $n = 2108,0/33,0 = 64$ рейси;

б) при розрахунку за об'ємом: $n = 1440,0/18,0 = 80$ рейсів.

Як видно із наведених розрахунків (розрахунок за вантажопідйомністю є контрольним) у всіх трьох випадках перевезена однакова вага сухого матері-

алу при однаковій кількості рейсів – 64. Водночас для перевезення ґрунту природного стану в кар'єрі необхідно вже було 74 рейси, а фактично враховуючи розпушування ґрунту в процесі його зарізання і падіння у кузов знадобилося всі 80 рейсів, тобто на 6 рейсів більше ніж для стану ґрунту в кар'єрі навіть для такого великого автосамоскида як Volvo 420 FM 12. Для менших автосамоскидів ця різниця значно збільшується.

Проведені раніше різними авторами дослідження і досвід транспортування насипних вантажів, якими є і більшість дорожньо-будівельних матеріалів, свідчать що 99 % всіх таких вантажів має об'ємну насипну вагу не більше 2,0 т/м³ [17, С. 238–241]. Із цих же даних можна зробити висновок, що перевантажити типовий будівельний транспорт, зокрема та великогабаритний, насипним вантажем практично не можливо.

Деякі наступних розрахунків кількості рейсів, для тих же ґрунтових умов, але для інших марок машин, далі здійснено в скороченому вигляді (табл. 1).

Із наведених розрахунків видно, що новіші моделі автосамоскидів вирішували одне найголовніше завдання: зменшення кількості рейсів для перевезення ґрунту, як і будь-яких інших будівельних насипних матеріалів. Водночас питома об'ємна вага ґрунту в кузові автомобіля $\rho = P/V$ зростає не суттєво або й зовсім не зростає і на сьогодні, як було показано раніше, не перевищує $\rho = 1,85 \text{ т/м}^3$. Однак тиск автосамоскидів на дорогу зростає не суттєво і навіть 7.0–8.0 кг/см² на дорожньому покритті, що досить просто перевіряється фактичним тиском повітря у балонах коліс автомобілів, не є чимось аномальним для земляного полотна автомобільних доріг, про що було відомо ще у п'ятдесятих роках двадцятого століття [9, С. 165].

Таблиця 1

Розрахунки кількості рейсів для машин різних марок

ґрунтові умови насипу		ґрунтові умови кар'єру		ґрунтові умови кузова	
1. МАЗ – 205 (МАЗ 200); P=6,0 т; V= 36 м ³ ; P/V=1,67 т/ м ³					
P	n = 2144/6=357	n = 2108/6=351	n = 2108/6=351	n = 2108/6=351	n = 2108/6=351
V	n = 1000/36=278	n = 1340/36=372	n = 1340/36=372	n = 1440/36=400	n = 1440/36=400
2. МАЗ – 210 Е; P=10,0 т; V= 6 м ³ ; P/V =1,67 т/ м ³					
P	n = 2144/10=214	n = 2108/10=214	n = 2108/10=214	n = 2108/10=214	n = 2108/10=214
V	n = 1000/6=167	n = 1340/6=223	n = 1340/6=223	n = 1440/6=240	n = 1440/6=240
3. МАЗ – 225; P=25,0 т; V= 14,3 м ³ ; P/V =1,75 т/ м ³					
P	n = 2144/25=86	n = 2108/25=84	n = 2108/25=84	n = 2108/25=84	n = 2108/25=84
V	n = 1000/14,3=70	n = 1340/14,3=94	n = 1340/14,3=94	n = 1440/14,3=101	n = 1440/14,3=101
4. БелАЗ – 54.8А; P=40,0 т; V= 26 м ³ ; P/V=1,54 т/ м ³					
P	n = 2144/40=54	n = 2108/40=53	n = 2108/40=53	n = 2108/40=53	n = 2108/40=53
V	n = 1000/26=39	n = 1340/26=52	n = 1340/26=52	n = 1440/26=56	n = 1440/26=56
5. Самохідний візок Д– 505 (дункан); P=20,0 т; V= 17 м ³ ; P/V =1,2 т/ м ³					
P	n = 2144/20=107	n = 2108/20=106	n = 2108/20=106	n = 2108/20=106	n = 2108/20=106
V	n = 1000/17=59	n = 1340/17=79	n = 1340/17=79	n = 1440/17=85	n = 1440/17=85

У наступному прикладі розглянуто дещо інші ґрунтові умови, наприклад, як у кар'єрі N2 (суглинок легкий пилюватий твердий $\omega_{\text{кар}}=15,5\%>14,4\%$) **рис. 3**. Так відповідно і у кузові автосамоскида марки Volvo 420 FM 12 (**табл. 2**).

У цьому разі при розрахунку за об'ємом перевезеного розпушеного ґрунту на кожні 1000 м³ насипу необхідно здійснити на 2 рейси більше ніж при розрахунку за вантажопідйомністю.

Розглянемо ще один приклад, де ґрунт у кар'єрі N3 **рис. 3** є ще вологішим і пухкішим ніж у кар'єрі N2 (**табл. 3**).

Тобто тут при розрахунку за об'ємом перевезеного розпушеного ґрунту на кожні 1000 м³ об'єму насипу (за формального підходу) необхідно здійснити на 3 рейси більше.

Насправді ситуація в цьому випадку є куди складнішою, ніж може видатись на перший погляд. Проблема полягає в тому, а чи можна при цій вологості взагалі якісно ущільнити привезений ґрунт. Відповідь на це запитання ще у 1935 році дано в одній із робіт А. Ф. Лебедева [18, С. 34], хоча теоретично вона була відома навіть раніше.

Для цього необхідно виконати розрахунок найбільшої можливої густини сухого ґрунту, яку можна досягти, якщо укочувати його при такій вологості:

$$\rho_d = (\rho_s * S_r) / (\omega * \rho_s + S_r) \quad (9)$$

де ρ_s – густина частинок ґрунту, г/см³;
 S_r – ступінь водонасичення, од.;
 ω – вологість ґрунту, од.

Підставляючи у формулу (9) значення вологості у кар'єрі (18,5 %), інші показники з паспорта ґрунту (**рис. 3**) отримуємо такий результат:

$$\rho_d = 2,7 * 0,85 / (0,185 * 2,7 + 0,85) = 1,701 \text{ г/см}^3 \leq 1,848 = \rho_{\text{д нас.}}$$

$$K_{\text{ущ}} = 1,701 / 1,76 = 0,97 \leq 1,05.$$

У цьому розрахунку замість $S_r=1,0$, як у роботі [18, С. 34], було взято $S_r=0,85$, як показник водонасичення ґрунтів, який реально досягається як під час лабораторних випробувань [5], так і на виробництві.

Із виконаного розрахунку видно, що **перш ніж розпочинати перевезення ґрунту з кар'єру для спорудження насипу, обов'язково треба перевірити його вологість і переконатись, що вона дає змогу досягнути необхідної густини сухого ґрунту при ущільненні**. Чи його треба попередньо розпушити в кар'єрі для підсихання перед транспортуванням, аби не возити непотрібну і шкідливу для процесу ущільнення воду. Або може взагалі варто змінити кар'єр при нагальній потребі будівництва.

Таким чином треба мати на увазі, що збудувати якісний добре ущільнений насип, який матиме достатньо великий модуль пружності під дорожнім покриттям, можна не будь-коли протягом року, а тільки за вологості у певному обмеженому інтервалі (сухіше межі розкочування), як показано на **рис. 2**. Тому також необхідно відмовитися від загальних таблиць, допустимих при ущільненні вологостей, які є як у чинних нормативних документах [8, С. 21], так, на жаль, і в усіх їх попередниках.

У зв'язку із викладеним у цій роботі варто ще раз нагадати, що зберегти і підтримувати дорожню мережу країни можна тільки шляхом якіснішого

Таблиця 2

Розрахунок кількості рейсів

Ґрунтові умови насипу	Ґрунтові умови кар'єру	Ґрунтові умови кузова
$\rho_d = 1,848 \text{ т/м}^3$ $\omega = 14,5\%$ $\omega = 1,848 * 1,145 = 2,116 \text{ т/м}^3$ $V = 1000 \text{ м}^3$ $P = 2116 * 1000 = 2116 \text{ т}$ $N_p = 2116 / 33 = 64$ $N_v = 1000 / 18 = 56$	$\rho_{\text{д кар}} = 1,62 \text{ т/м}^3$ $\omega_{\text{кар}} = 15,5\%$ $\omega_{\text{кар}} = 1,62 * 1,155 = 1,871 \text{ т/м}^3$ $K_1 = 1,848 / 1,62 = 1,14$ $V_{\text{кар}} = 1000 * 1,14 = 1140 \text{ м}^3$ $P_{\text{кар}} = 1140 * 1,871 = 2133 \text{ т}$ $N_p = 2133 / 33 = 65$ $N_v = 1140 / 18 = 63$	$\rho_{\text{дрозп}} = 1,54 \text{ т/м}^3$ $\omega_{\text{розп}} = 15,5\%$ $\rho_{\text{розп}} = 1,54 * 1,155 = 1,779 \text{ т/м}^3$ $K_2 = 1,848 / 1,54 = 1,2$ $V_{\text{розп}} = 1000 * 1,2 = 1200 \text{ м}^3$ $P_{\text{розп}} = 1200 * 1,779 = 2135 \text{ т}$ $N_p = 2135 / 33 = 65$ $N_v = 1200 / 18 = 67$

Таблиця 3

Розрахунок кількості рейсів

Ґрунтові умови кар'єру	Ґрунтові умови кузова
$\rho_{\text{д кар}} = 1,55 \text{ т/м}^3$ $\omega_{\text{кар}} = 18,5\%$ $\rho_{\text{кар}} = 1,55 * 1,185 = 1,837 \text{ т/м}^3$ $K_1 = 1,848 / 1,55 = 1,19$ $V_{\text{кар}} = 1000 * 1,19 = 1190 \text{ м}^3$ $P_{\text{кар}} = 1190 * 1,837 = 2186 \text{ т}$ $N_p = 2186 / 33 = 66$ $N_v = 1190 / 18 = 66$	$\rho_{\text{д розп}} = 1,49 \text{ т/м}^3$ $\omega_{\text{розп}} = 18,5\%$ $\rho_{\text{розп}} = 1,49 * 1,185 = 1,766 \text{ т/м}^3$ $K_2 = 1,848 / 1,54 = 1,2$ $V_{\text{розп}} = 1000 * 1,24 = 1240 \text{ м}^3$ $P_{\text{розп}} = 1240 * 1,766 = 2190 \text{ т}$ $N_p = 2190 / 33 = 66$ $N_v = 1240 / 18 = 69$

будівництва земляного полотна, особливо в робочому шарі, товщина якого мабуть повинна бути навіть дещо збільшена, порівняно з чинними вимогами,

а не шляхом використання більшої чи меншої кількості стаціонарних чи пересувних пунктів зважування на дорогах.

ВИСНОВКИ

Наведений у роботі алгоритм розрахунку кількості рейсів чи то за вантажопідйомністю, чи то за об'ємом кузова транспортних засобів є досить простим і базується на необхідності врахування реальної густини сухого ґрунту в трьох станах: ущільненого в тілі насипу, у природньому заляганні в кар'єрі (резерві, відвалі) і в розпушеному стані в кузові автомобіля. Тобто в будь-якому разі він вимагає прямих вимірів цього показника: у тілі насипу при контролі якості ущільнення; під час геотехнічних вишукувань при виборі ґрунтового кар'єра для спорудження насипу; при контрольних визначеннях густини сухого ґрунту в кузові автомобіля.

Розрахунок кількості рейсів за об'ємом кузова автомобіля зазвичай дає дещо більшу кількість рейсів порівняно з розрахунком за вантажопідйомністю навіть для найбільш великих автосамоскидів вже на першу тисячу кубічних метрів проектного об'єму насипу. Тому при більших обсягах перевезень ця різниця пропорційно зростає.

Також необхідно враховувати умови транспортування ґрунтів, коли в певних конкретних випадках застосування великогабаритних машин може виявитись неможливим саме через їх велику вантажопідйомність і габарити. Це може призвести до певного збільшення вартості робіт через застосування менш вантажопідйомних, малогабаритних марок машин.

Чи не найважливішим у транспортуванні ґрунтів повинен бути контроль вологості саме в кар'єрі перед навантаженням у транспортні засоби. Вона повинна бути у межах 0,8–0,95 ω_0 . Оскільки при більших показниках вологості практично неможливо якісно ущільнити ґрунт, тому взагалі зникає потреба його перевозити у такому стані, – земляне полотно буде споруджено не якісно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвиненко А. С. До питання нормування ступеню ущільнення ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг та визначення статистичних показників оцінки якості ущільнення // Дороги і мости. Збірник наукових праць ДерждорНДІ. – Вип. 11. – К., 2009. – С. 212–225.
2. Литвиненко А. С. До питання нормування ступеня ущільнення та контролю якості ущільнення ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг // Автошляховик України. – № 2. – К., 2011. – С. 41–45.
3. Литвиненко А. С. Ще до питання нормування ступеня ущільнення земляного полотна автомобільних доріг // Дороги і мости : Збірник наукових праць ДерждорНДІ. – Вип. 12. – К., 2010. – С. 90–101.
4. Седерген Г. Р. Дренаж дорожніх одежд и аэродромных покрытий. // Транспорт. – М., 1981.
5. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності : ДСТУ Б В.2.1-12:2009. – [Чинний з 2009–12–22]. – Київ: Мінрегіонбуд 2010. – (Національний стандарт України).
6. Приклонський В. А. Ґрунтоведение. – М.: Госгеолтехніздат, 1955. – Часть первая.
7. Автомобильные дороги : СНиП 2.05.02-85. – [Введен в експлуатацію с 1986–12–17]. – Москва : Госстрой СССР, 1986.
8. Споруди транспорту. Автомобільні дороги : ДБН В.2.3-4:2015. – [Чинний з 2016–04–01]. – Київ : Мінрегіонбуд, 2015. – Ч. I: Проектування; Ч. II: Будівництво.
9. Бируля А. К., Бируля В. И., Носич И. А. Устойчивость грунтов дорожного полотна в степных районах. – М.: Дориздат, 1951.
10. Телегин М. Я. Методы уплотнения дорожных насыпей. – М.: Дориздат, 1952.
11. Механика грунтов для инженеров-дорожников (грунты в дорожном строительстве) перевод с английского. – М.: Автотрансиздат, 1957.
12. Кривисский А. М. Возведение земляного полотна автомобильных дорог / Под ред. Н. А. Иванова. – М.: Дориздат, 1948.
13. Сиденко В. М., Батраков О. Г., Леушин А. И. Технология строительства автомобильных дорог. – К.: Вища школа, 1970. – Ч. I: Технология строительства земляного полотна.
14. Иванов Н. Н. Строительство автомобильных дорог. – М., 1963. – Ч. I.
15. Савенко В. Я., Славінська О. С., Усиченко О. Ю. Технологія будівництва земляного полотна автомобільних доріг. – К.: НТУ, 2013.
16. Справочник инженера-механика дорожника / Под ред. М. И. Вейцмана. – М.: Транспорт, 1973.
17. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов (основания расчёта погрузочно-разгрузочных и транспортных устройств). – М.: Машиностроение, 1964. – Изд. 2-е.
18. Лебедев А. Ф. Предел укатки связных грунтов в зависимости от их влажности. – М.: Волгострой, 1935. – № 2(8).