

МЕТОДИЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІЩАНИХ ЗРАЗКІВ ҐРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ДИФРАКТОМЕТРА

СОЛОХА М.О. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-1860-0819

Навчально-науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

ВИНОКУРОВА Н.В. – провідний інженер

orcid.org/0000-0003-3876-480X

Навчально-науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Постановка проблеми. Для оперативного спостереження за ґрунтовим покривом постала необхідність у швидкому, точному, репрезентативному способі визначення гранулометричного складу. На сьогодні одним з методів, що має відповідати цим параметрам, може бути лазерно-дифракційний аналіз розміру часточок. Згідно з ІСО 13320 2020, «успіх методики заснований на тому, що її можна застосовувати до широкого спектра систем твердих частинок» [1]. Але ґрунтознавці в Україні цей метод майже не застосовують, адже фірми, що випускають лазерні дифрактометри, пропонують різні моделі за методичними підходами та технічними особливостями, що зумовлює індивідуальний підхід у роботі у разі загальнооднакових принципів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій різних авторів (С. Polakowski [2], D. Igaz [3], С.С. Kasmerschak [4], Р. Fisher [5], W. Weipeng [6] та інші) говорить про різноманітність підходів до роботи на лазерному дифрактометрі, які залежать від будови та конструктивних особливостей приладу. У цих публікаціях автори практично не пояснюють вибір налаштувань параметрів для вимірювання, від яких залежить якість результату.

Використовуючи лазерний аналізатор часточок Mastersizer 2000 дослідники застосовували неоднакові налаштування [2]. С. Polakowski зі співавторами [2] у вимірюванні на Mastersizer 2000 з Hydro G використали такі параметри, як: час одного вимірювання – 60 с (30 с для червоного світла і 30 с для синього світла), швидкість насосу – 1750 об/хв., а швидкість мішалки – 700 об/хв., математична модель розрахунку – теорія Мі, коефіцієнт заломлення – 1,52, коефіцієнт поглинання – 0,1; значення затемнення становило 10–20%. В інших роботах М. Ryzak and А. Bieganski [7], а також С.С. Kasmerschak зі співавторами [4] на аналогічному приладі налаштування в кожному разі були вже інші. Ми вважаємо, що розбіжності створюють невизначеність у параметрах, що необхідно застосовувати у разі вимірювання на лазерному дифрактометрі.

Мета статті. Мета статті – на прикладі піщаного зразка показати порядок дій у разі вимірювання на лазерно-дифракційному аналізаторі часточок Mastersizer 3000Е фірми Malvern Instruments з рідинним модулем диспергування Hydro EV та вплив параметрів налаштування на результати розподілу часточок по фракціях.

Матеріали та методика досліджень. Зразок для аналізування був відібраний у Сухостеповій сухій підзоні, яка знаходиться в Україні у Херсонській області у Скадовському районі, у точці з координатами N:46.4627679, E:32.5334251. Попередньо зразок був висушений, просіяний крізь сито з діаметром отворів 1 мм, перемішаний та взята середня проба. Було проведено вимірювання гранулометричного складу ґрунту стандартизованим сито-піпет методом у модифікації Качинського (ДСТУ 4730:2007) та лазерно-дифракційним методом. Для двох методів для видалення карбонатів застосовувалася соляна кислота з молярною концентрацією с(HCl) 0,05 моль/дм³ та для дезагрегації – розчин гідроксиду натрію з молярною концентрацією с(NaOH) 1 моль/дм³.

Для вимірювання розподілу часточок за фракціями методом лазерної дифракції використовувався лазерно-дифракційний аналізатор часточок Mastersizer 3000Е фірми Malvern Instruments з рідинним модулем диспергування Hydro EV.

Для зручності межі кожної фракції були встановлені такі ж самі, як у стандартизованому сито-піпет методі Качинського. Кожне вимірювання складалося з 6 повторювань (для можливості проведення тесту на повторюваність приладу, згідно з ІСО13320:2020), а для аналізування та порівняння використовувалося середнє арифметичне значення.

Результати досліджень. Для з'ясування відхилень, що виникають через вимірювальний прилад, проведений тест на повторюваність (таблиця 1). З урахуванням даних 6 вимірювань (табл. 1) та міжнародного стандарту ІСО 13320 2020, згідно з яким повідомлене кумулятивне значення розподілу об'єму з кожного тесту на 10-му перцентилі не повинне відхилятися від середнього значення 6 значень результатів вимірювання більш ніж на ± 2%, на 50-му перцентилі – ± 1,5%, на 90-му перцентилі – ± 3%, маємо, що на 10-му перцентилі дані повинні становити не більше 117,83 ± 2,36 мкм, на 50-му перцентилі – 222,33 ± 3,33 мкм, на 90-му перцентилі – 380,17 ± 11,40 мкм. Дані шести вимірювань відповідають цим вимогам, тобто відхилення у вимірюваннях не перевищують похибки приладу.

У виборі швидкості мішалки з насосом для Mastersizer 3000Е з Hydro EV слід враховувати, що низька швидкість призводить до осідання крупних часточок піску на дно

Таблиця 1

Дані тесту на повторюваність приладу

Номер зразка	Значення перцентилі D(10) мкм	Значення перцентилі D(50) мкм	Значення перцентилі D(90) мкм
1	117	221	379
2	119	224	384
3	116	219	375
4	118	223	381
5	118	223	380
6	119	224	382
Середнє	117,83	222,33	380,17

Таблиця 2

Вплив швидкості насоса з мішалкою на розмір часточок

Номер зразка	Швидкість насоса об/хв.	Значення перцентилі D(10) мкм	Значення перцентилі D(50) мкм	Значення перцентилі D(90) мкм
1	500	0,525	1,51	116
2	750	0,671	170	465
3	1000	107	245	492
4	1250	101	215	366
5	1500	112	220	372
6	1750	117	223	376
7	2000	116	221	377
8	2250	117	222	380
9	2500	118	224	384
10	2750	118	225	387
11	3000	118	225	389
12	3250	117	224	387
13	3500	117	224	386

стакана для диспергування, це можна спостерігати візуально, а також підтверджується даними (табл. 2). Згідно з якими до швидкості 1750 об/хв. розміру часточок на 10-му, 50-му та 90-му перцентилі змінюються зі швидкістю, а починаючи зі швидкості 1750 об/хв дані розміру часточок на 10-му, 50-му та 90-му перцентилі суттєво не міняються та не перевищують похибки вимірювального приладу. З огляду на те, що у разі швидкості менше 2500 об/хв. у стакані для диспергування без додавання зразка не спостерігалися бульбашки, а стабільні дані були за швидкості, що перевищувала 1750 об/хв., оптимальною вважаємо швидкість мішалки з насосом для Hydro EV 2000 об/хв.

Для порівняння даних методу лазерної дифракції, визначених за різних оптичних параметрів зразка, було проведено аналіз стандартизованим сито-піпет методом у модифікації Качинського (ДСТУ 4730:2007), дані якого служитимуть еталоном у порівнянні. Провівши аналіз піщаного зразка у трикратній повторюваності за ДСТУ 4730:2007, маємо середні арифметичні значення по фракціях зі стандартним відхиленням: вміст фізичного піску (часточки > 0,01 мм) – 96,88 ± 0,6%, вміст фізичної глини (часточки < 0,01 мм) – 3,12 ± 0,6%. Класифікація ґрунтів за Качинським є двочленною, тому надалі розглядатимемо лише значення вмісту фізичної глини.

Основними оптичними параметрами зразка, які застосовуються у вимірюванні на лазерному дифрактометрі та які впливають на значення розподілу часточок по фракціях, є індекс рефракції та індекс абсорбції. Для видимого світла «майже всі тверді тіла та рідини мають показник заломлення вище 1,3. Значення зазвичай вимірюються на довжині хвилі 589 нм, що відповідає дублетній D-лінії натрію в жовтій частині спектра» [8]. У більшості довідників наведені дані індексу рефракції саме для цієї довжини хвилі. Довжина хвилі лазерного дифрактометра Mastersizer 3000E інша (632,8 нм), тому й показник заломлення може бути іншим, оскільки він залежить від довжини хвилі та властивостей матеріалу (мінерального складу, щільності, структурності). Для цієї довжини хвилі даних показника заломлення в розповсюджених довідниках по оптичних властивостях мінералів не трапляється. Можливо, з цієї підстави автори статей з лазерної дифрактометрії G. Eshel зі співавторами [9], T. Zobeck [10], B.A. Miller, R.J. Schaeetz [11] та інші використовували саме коефіцієнт заломлення мінералів для жовтої лінії спектра з довідників. Натомість E. Kondrlova зі співавторами [12], проводячи порівняння даних, здобутих різною комбінацією коефіцієнта заломлення (1,3, 1,42, 1,5, 1,54, 1,8) та коефіцієнта поглинання (0,1, 0,001, 0,008, 0,2), відзначили, що «зниження показника заломлення призвело до збільшення

вмісту глини. А використання показника заломлення, що дорівнює 1,5, і індексу поглинання в діапазоні 0,1–0,2, призвело до дуже подібних оцінок порівняно з моделлю Фраунгофера. Також відомо, що ґрунт – це гетерогенна система, яка може включати у себе різні мінерали, тому ансамбль частинок вірогідніше за все матиме своєрідний коефіцієнт заломлення, притаманний певному типу ґрунту, та відрізнятиметься від довідникового. З цієї причини для встановлення впливу індексу рефракції на дані розподілу часточок по фракціях та порівняння цих даних з даними, одержаними методом Качинського, в базу даних були внесені матеріали з коефіцієнтом заломлення від 1,33 до 1,55, при цьому індекс абсорбції (0,01) та щільність (2,65 г/см³) були незмінні.

Виконавши вимірювання лазерно-дифракційним методом за індексу рефракції від 1,33 до 1,55, бачимо, що зі збільшенням коефіцієнта заломлення вміст фізичної глини (часточки < 0,01 мм) зменшується (рис. 1).

Це також підтверджували Е. Kondrlova зі співавторами [15] у своїх дослідженнях. Починаючи з індексу рефракції 1,46 прилад у такому зразку вміст часточок <0,01 мм визначає як 0%, хоча згідно із сито-піпет методом у модифікації Качинського він становить 3,12±0,6%. Якщо приймати індекс рефракції для піщаного зразка як для кварцу (оскільки цей мінерал переважно становить зразок) з довідника, що дорівнює 1,54 для жовтої лінії спектра [13], то дані вмісту частинки діаметром <0,01 мм дорівнюватимуть 0%. Це не відповідає стандартизованому сито-піпет методу. Згідно з ISO 13320 2020, «підтвердження використаних оптичних властивостей можна дати шляхом порівняння обчисленої концентрації з даних розподілу розмірів зі справжньою концентрацією. Велике відхилення вказує на те, що або оптична модель, або застосований показник заломлення неправильні. Крім того, можна використовувати інші методи (наприклад, мікроскопію або седиментацію), щоб пере-

вірити наявність значної частки дрібних частинок». Тобто коефіцієнт заломлення 1,54 з довідника, який приймається часто в методі лазерної дифракції, для піщаного зразка у разі застосування Mastersizer 3000E з Hydro EV є неприйнятним. Найбільш близькі значення вмісту часточок діаметром <0,01 мм становили за індексу рефракції 1,39–1,41. А отже, для піщаного зразка слід використовувати коефіцієнт заломлення 1,40, що є середнім значенням у межах 1,39–1,41.

Індекс абсорбції встановлюється імперично або досвідом, тому вплив цього показника на дані вмісту розподілу часточок діаметром <0,01 мм був визначений шляхом вимірювання зразка за коефіцієнту заломлення 1,40 та коефіцієнта поглинання від 0,0 до 1,0 й порівняння результатів (рис. 2).

Аналізуючи дані, одержані з різним коефіцієнтом поглинання, бачимо, що зі збільшенням індексу абсорбції від 0,0 до 1,0 дані вмісту часточок діаметром менше 0,01 мм зменшується від 7,23 до 0. Тобто як збільшення індексу абсорбції, так і індексу рефракції призводять до зменшення результатів вимірювання фізичної глини. Чистий кварц за своєю природою прозорий або напівпрозорий. Індекс абсорбції абсолютно прозорих тіл дорівнює 0, а абсолютно чорних тіл – 1. Абсолютно чорних, білих і прозорих тіл у природі немає; у застосуванні до природних тіл ці поняття умовні. Піщаний зразок не є чистим кварцом та може мати мінеральні домішки та шорсткість, тому приймаємо значення коефіцієнта поглинання 0,01. Слід мати на увазі: якщо приймаємо менше значення індексу рефракції, то для одержання даних фізичної глини лазерно-дифракційним методом, близьких до сито-піпет методу, необхідно збільшити індекс абсорбції; вони взаємопов'язані. Вміст фізичної глини у піщаному зразку одержаний сито-піпет методом (3,12±0,6 %) може відповідати значенням цього ж діапазону у лазерно-дифракційному

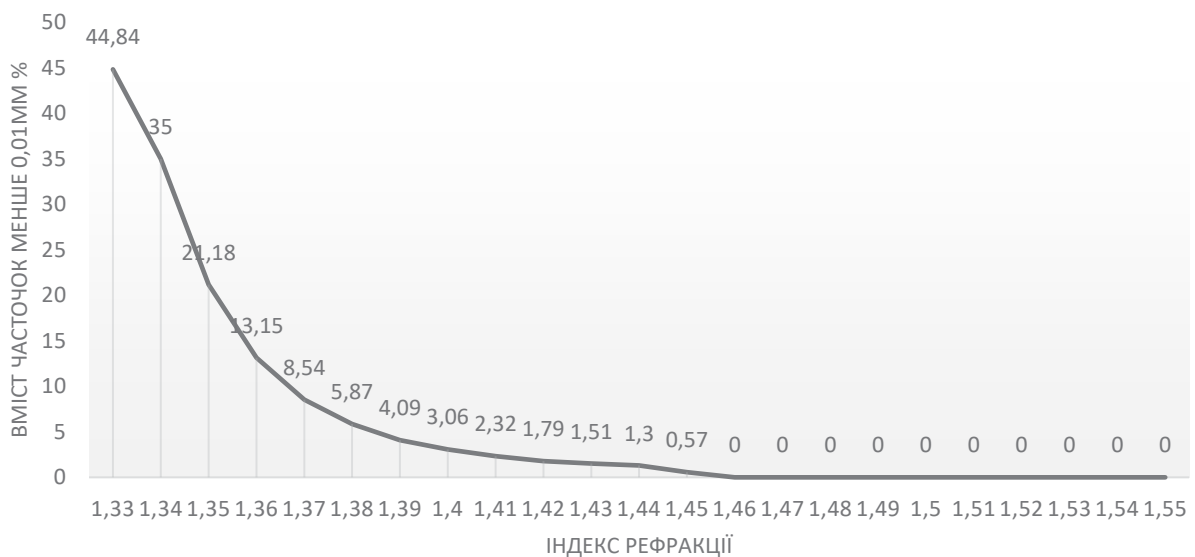


Рис. 1. Залежність даних вмісту часточок діаметром менше 0,01 мм від індексу рефракції у разі вимірювання на лазерному аналізаторі частинок Mastersizer 3000E з рідинним модулем диспергування Hydro EV

Залежність значень фракції фізичної глини (часточки < 0,01 мм) від оптичних налаштувань

Оптичні параметри		Індекс рефракції			
		1,43	1,42	1,41	1,40
Індекс абсорбції	0,0025	3,26	3,85	4,61	5,63
	0,005	2,62	3,03	3,79	4,21
	0,0075	2,13	2,57	2,92	3,57
	0,01	1,70	2,23	2,52	3,33

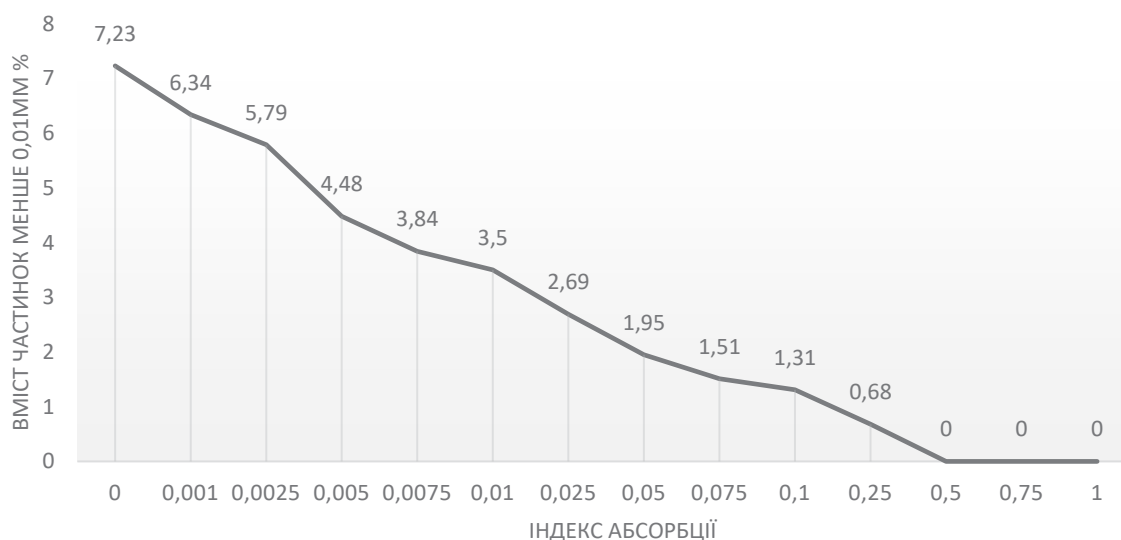


Рис. 2. Залежність даних вмісту часточок діаметром менше 0,01 мм від індексу абсорбції у разі використання Mastersizer 3000E з Hydro EV

методі з різними комбінаціями індексу рефракції та індексу абсорбції (табл. 3).

Але за індексу рефракції більше 1,44 та за будь-якого значення індексу рефракції від 0 до 1 вміст фізичної глини буде менший 3,12±0,6%.

Висновки. У роботі на лазерному аналізаторі часточок слід враховувати його конструктивні особливості: діапазон вимірювань, довжину хвилі, модуль диспергування, що застосовується. Тест на повторюваність підтверджує можливість вимірювати часточки ґрунту на Mastersizer 3000E з Hydro EV у межах похибки приладу. Особливу увагу слід приділяти параметрам налаштування для вимірювання. Найбільш вагомими є оптичні параметри зразка: індекс рефракції та індекс абсорбції. Їх для ґрунтових зразків не бажано використовувати з довідників по мінералогії, адже, як показано на піщаному зразку, для встановлення індексу рефракції 1,54 (для кварцу із довідника) одержані дані є хибними, оскільки в них фракції менше 0,01 мм дорівнюють 0%, а згідно із сито-піпет методом – 3,12±0,6%. Водночас, вимірюючи лазерно-дифракційним методом за індексу рефракції 1,40 та індексу абсорбції 0,01, або 1,41 і 0,0075, або 1,42 і 0,005, або 1,43 і 0,0025 відповідно, маємо значення фракції в цьому ж діапазоні (3,33, 2,92, 3,03, 3,26). Зменшення коефіцієнта поглинання, як і коефіцієнта заломлення, призводить до збільшення

значень фракції з діаметром часточок менше 0,01 мм та навпаки. Для піщаного зразка коефіцієнт заломлення повинен бути менший 1,44. В подальшому слід для аналізу певного типу ґрунту на лазерному дифрактометрі застосовувати притаманні йому оптичні параметри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ISO 13320:2020(E) Particle size analysis – Laser diffraction methods. [Second edition 2020-01]. International Standard. Geneva, Switzerland, 2020. 66 p.
2. Particle Size Distribution of Various Soil Materials Measured by Laser Diffraction – The Problem of Reproducibility / Polakowski C. et al. *Minerals*. 2021. V.11(5), P. 465. URL: <https://doi.org/10.3390/min11050465>.
3. Laser diffraction as an innovative alternative to standard pipette method for determination of soil texture classes in Central Europe / Igaz D. et al. *Water*. 2020. V. 12, 1232. DOI: 10.3390/w12051232.
4. Kasmerchak C.S., Masonb J.A., Liangb M. Laser diffraction analysis of aggregate stability and disintegration in forest and grassland soils of Northern Minnesota, USA. *Geoderma*. 2019. V. 338. P. 430–444.
5. Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis / Fisher P. et al. *PLoS ONE*. May 4, 2017. V. 12(5): e0176510. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176510>.

6. Critical Evaluation of Particle Size Distribution Models Using Soil Data Obtained with a Laser Diffraction Method / Weipeng W. et al. *PLoS ONE*. April 30, 2015. V. 10(4): e0125048. DOI: 10.1371/journal.pone.0125048.
7. Ryz'ak M. and Bieganowski A. Methodological aspects of determining soil particle-size distribution using the laser diffraction method. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2011. V. 174. P. 624–633.
8. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F (дата звернення 1.02.2022 р.)
9. Singer Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis / Eshel G. et al. *Soil Science Society of America*. MAY–JUNE 2004. V. 68. P. 736–743.
10. Zobeck T.M. Rapid soil particle size analyses using laser diffraction. *Applied Engineering in Agriculture*. 2004 V. 20(5). P. 633–639.
11. Miller B.A., Schaetz R.J. Precision of soil particle size analysis using laser diffractometry. *Soil Science Society of America Journal*. 2011. V. 76. P. 1719–1727.
12. Kondrlova E., Igaz D., Horak J. Effect of calculation models on particle size distribution estimated by laser diffraction. *The Journal of Ege University Faculty of Agriculture*. 2015, Special Issue. P. 21–27. ISSN 1018–8851.
13. An introduction to the rock-forming minerals / W.A. Deer, R.A. Howie, J. Zussman. *Berforts Information Press, Stevenage, Hertfordshire, UK*. 3rd ed. ISBN 978-0903056-33-5 2013 549-dc23 P. 311. URL: https://pubs.geoscienceworld.org/books/chapter/pdf/3751723/9780903056434_frontmatter.pdf bygues.
- using the laser diffraction method. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174. 624–633. DOI: 10.1002/jpln.201000255.
8. Retrieved from: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F (Last accessed: 1.02.2022).
9. Eshel, G., Levy G.J., Mingelgrin U., and Singer M.J. (2004). Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 736–743. DOI: 10.2136/sssaj2004.0736.
10. Zobeck T.M. Rapid soil particle size analyses using laser diffraction. *Applied Engineering in Agriculture*. 2004 V. 20(5). P. 633–639.
11. Miller B.A., Schaetz R.J. (2011). Precision of soil particle size analysis using laser diffractometry. *Soil Science Society of America Journal*. 76. 1719–1727. DOI: 10.2136/sssaj2011.0303.
12. Kondrlova E., Igaz D., Horak J. (2015). Effect of calculation models on particle size distribution estimated by laser diffraction. *The Journal of Ege University Faculty of Agriculture. Special Issue*. 21–27. ISSN 1018–8851.
13. An introduction to the rock-forming minerals / W.A. Deer, R.A. Howie, J. Zussman. *Berforts Information Press, Stevenage, Hertfordshire, UK*. 3rd ed. ISBN 978-0903056-33-5 2013 549-dc23 P. 311. Retrieved from: https://pubs.geoscienceworld.org/books/chapter/pdf/3751723/9780903056434_frontmatter.pdf bygues.

REFERENCES:

1. International Organization for Standardization (2020). *Particle size analysis – Laser diffraction methods*. (ISO Standard No 13320:2020(E)). Second edition 2020-01.
 2. Polakowski C., Ryzak M., Sochan A., Beczek M., Mazur R., Bieganowski A. (2021). Particle size distribution of various soil materials measured by laser diffraction – the problem of reproducibility. *Minerals*. 11(5), 465. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11050465>.
 3. Igaz D., Aydın E., Šinkovičová M., Šimanský V., Tall A., Horák J. (2020). Laser diffraction as an innovative alternative to standard pipette method for determination of soil texture classes in central Europe. *Water* 12(5), 1232. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051232>.
 4. Kasmerchak C.S., Mason J.A., Liang M. (2019). Laser diffraction analysis of aggregate stability and disintegration in forest and grassland soils of northern Minnesota, USA. *Geoderma*. 338. 430–444.
 5. Fisher P., Aumann C., Chia K., O'Halloran N., Chandra S. (2017). Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis. *PLoS ONE*. 12(5): e017651 DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176510>.
 6. Weipeng W., Jianli L., Bingzi Z., Jiabao Z., Xiaopeng L., Yifan Y. (2015). Critical Evaluation of Particle Size Distribution Models Using Soil Data Obtained with a Laser Diffraction Method. *PLoS ONE* 10(4): e0125048. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone>.
 7. Ryz'ak M., Bieganowski A. (2011). Methodological aspects of determining soil particle-size distribution using the laser diffraction method. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174. 624–633. DOI: 10.1002/jpln.201000255.
 8. Retrieved from: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F (Last accessed: 1.02.2022).
 9. Eshel, G., Levy G.J., Mingelgrin U., and Singer M.J. (2004). Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 736–743. DOI: 10.2136/sssaj2004.0736.
 10. Zobeck T.M. Rapid soil particle size analyses using laser diffraction. *Applied Engineering in Agriculture*. 2004 V. 20(5). P. 633–639.
 11. Miller B.A., Schaetz R.J. (2011). Precision of soil particle size analysis using laser diffractometry. *Soil Science Society of America Journal*. 76. 1719–1727. DOI: 10.2136/sssaj2011.0303.
 12. Kondrlova E., Igaz D., Horak J. (2015). Effect of calculation models on particle size distribution estimated by laser diffraction. *The Journal of Ege University Faculty of Agriculture. Special Issue*. 21–27. ISSN 1018–8851.
 13. An introduction to the rock-forming minerals / W.A. Deer, R.A. Howie, J. Zussman. *Berforts Information Press, Stevenage, Hertfordshire, UK*. 3rd ed. ISBN 978-0903056-33-5 2013 549-dc23 P. 311. Retrieved from: https://pubs.geoscienceworld.org/books/chapter/pdf/3751723/9780903056434_frontmatter.pdf bygues.
- Солоха М.О., Винокурова Н.В. Методичні та технічні аспекти визначення гранулометричного складу піщаних зразків ґрунту за допомогою лазерного дифрактометра**
- Мета дослідження** – показати порядок дій у разі вимірювання на лазерно-дифракційному аналізаторі частинок Mastersizer 3000E фірми Malvern Instruments з рідинним модулем диспергування Hydro EV та вплив параметрів налаштування на результати розподілу часточок по фракціях у піщаному зразку.
- Методи.** Проводилось вимірювання піщаного зразка стандартизованим сито-піпет методом та методом лазерної дифракції з різними налаштуваннями, статистичне порівняння одержаних даних.
- Результати.** Тест на відтворюваність підтвердив можливість вимірювання на лазерному дифрактометрі піщаного зразка в межах похибки приладу. Параметри налаштування впливають на розподіл часточок по фракціях. Швидкість насоса з мішалкою для Mastersizer 3000E з Hydro EV повинна бути в межах 1750–2500 об/хв. Зі збільшенням коефіцієнта заломлення від 1,33 до 1,55 вміст фізичної глини (часточки < 0,01 мм) зменшується. Індекс рефракції та індекс абсорбції є взаємопов'язаними оптичними показниками. Якщо приймаємо менше значення індексу рефракції, то для одержання даних фізичної глини лазерно-дифракційним методом, близьких до сито-піпет методу, необхідно збільшити індекс абсорбції та навпаки.
- Висновки.** У роботі на лазерному аналізаторі часточок слід враховувати його конструктивні особливості. Особливу увагу слід приділяти у встановленні оптичних параметрів зразка: індекс рефракції та індекс абсорбції. Вимірюючи лазерно-дифракційним методом за

індексу рефракції 1,40 та індексу абсорбції 0,01, або 1,41 і 0,0075, або 1,42 і 0,005, або 1,43 і 0,0025 відповідно, маємо значення фракції в тому ж діапазоні, що і у сито-піпет методі ($3,12 \pm 0,6\%$). Для піщаного зразка коефіцієнт заломлення не повинен перевищувати 1,44. Надалі під час аналізу певного типу ґрунту на лазерному дифрактометрі слід застосовувати притаманні йому оптичні параметри.

Ключові слова: лазерно-дифракційний метод, індекс рефракції, індекс абсорбції, швидкість мішалки з насосом, сито-піпет метод, розподіл часточок по фракціях.

Solokha M.O., Vynokurova N.V. Methodical and technical aspects of determination of granulometric composition of sandy soil samples under assistant assistant

The aim of the study was to show the procedure for measuring on a laser diffraction analyzer of Mastersizer 3000E particles from Malvern Instruments with liquid dispersing module Hydro EV and the influence of adjustment parameters on the results of particle distribution by fractions in the sand sample.

Methods. The sand sample was measured by standardized sieve-pipette method and laser diffraction method with different settings, statistical comparison of the obtained data.

Results. The reproducibility test confirmed the possibility of measuring on a laser diffractometer sand sample within

the error of the instrument. Adjustment parameters affect the distribution of particles by fractions. The pump speed with the stirrer for Mastersizer 3000E with Hydro EV should be in the range of 1750–2500 rpm. With an increase in refractive index from 1.33 to 1.55, the content of physical clay (particles <0.01 mm) decreases. Refractive index and absorption index there are interrelated optical indicators. If we take less value of the refractive index, then to obtain data on physical clay by laser diffraction method close to the sieve-pipette method, it is necessary to increase the absorption index.

Conclusions. When working on a laser particle analyzer should take into account its design features. Particular attention should be paid to the establishment of optical parameters of the sample: the refractive index and the absorption index, because their value significantly affects the distribution of particles by fractions. Measuring by laser diffraction method at a refractive index of 1.40 and an absorption index of 0.01, or 1.41 and 0.0075, or 1.42 and 0.005, or 1.43 and 0.0025, respectively, we have the value of the fraction in the same range as in the sieve-pipette method ($3.12 \pm 0.6\%$). For the sand sample, the refractive index should not exceed 1.44. In the future, when analyzing a certain type of soil on a laser diffractometer should use its inherent optical parameters.

Key words: laser-diffraction method, refractive index, absorption index, speed of mixer with pump, sieve-pipette method, particle distribution by fractions.