

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-36>

УДК 621.867.427

ПОЛИВАНИЙ Ігор

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0009-0009-0795-4820>

e-mail: polyvanyigor@gmail.com

ЗОЛОТИЙ Роман

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-9435-2642>

e-mail: v.v.shevchenko@kpi.ua

МИКИТІВ Юрій

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0009-0002-8412-9014>

e-mail: yuramykyttiv@gmail.com

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ШНЕКОВИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Шнекові навантажувачі — важливе обладнання в різних галузях промисловості, таких як агропромисловий комплекс, будівництво і хімічна індустрія. Вони використовуються для транспортування сипучих матеріалів, таких як зерно, цемент, пісок і гранули, завдяки своїй простій конструкції, надійності та ефективності. Основна проблема при їх використанні — обмеження в роботі з матеріалами з високою вологістю або стиснутими матеріалами. Виробники постійно вдосконалюють конструкції шнеків і матеріали для підвищення ефективності та збільшення терміну служби. Шнекові транспортери мають компактний дизайн і дозволяють здійснювати безперервне і безпечне транспортування сипучих матеріалів. Вони використовуються не лише для обробки сипучих матеріалів, але й в гірничій і будівельній техніці.

В роботі проведено дослідження транспортування піску за допомогою шнекового транспортера, де вивчалися параметри, такі як швидкість обертання та радіальний зазор. Результати експерименту дозволяють визначити оптимальні умови для забезпечення високої продуктивності при транспортуванні піску, вивчаючи вплив різних параметрів на ефективність процесу.

Згідно з результатами експериментів, радіальний зазор є важливим параметром для забезпечення високої продуктивності шнекового транспортування піску. Найкращі результати досягались при зазорі, що в 1,5-2 рази перевищує розмір частки матеріалу, але не менше 3 міліметрів. Це дозволяє уникнути застрягання матеріалу та забезпечити безперебійну роботу шнекового транспорту. Отже, оптимізація цього параметра є критично важливою для підвищення ефективності транспортування піску та інших сипучих матеріалів.

Ключові слова: шнековий навантажувач, радіальний зазор, конвеєр, транспортер, аналітичний аналіз.

POLYVANYI Ihor, ZOLOTYI Roman, MYKYTIV Yurii

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF SCREW LOADERS FOR LOADING BULK MATERIALS

Screw conveyors are important equipment in various industries such as agro-industrial complex, construction and chemical industry. They are used to transport bulk materials such as grain, cement, sand and granules, due to their simple design, reliability and efficiency. The main problem when using them is the limitation in working with materials with high humidity or compressed materials. Manufacturers are constantly improving screw designs and materials to increase efficiency and increase service life. Screw conveyors have a compact design and allow for continuous and safe transportation of bulk materials. They are used not only for processing bulk materials, but also in mining and construction equipment.

The paper conducted a study of sand transportation using a screw conveyor, where parameters such as rotation speed and radial clearance were studied. The experimental results allow us to determine the optimal conditions for ensuring high productivity in sand transportation, studying the influence of various parameters on the efficiency of the process.

According to the experimental results, the radial clearance is an important parameter for ensuring high productivity of screw conveying of sand. The best results were achieved with a clearance that is 1.5-2 times the particle size of the material, but not less than 3 millimeters. This allows to avoid jamming of the material and ensure uninterrupted operation of the screw transport. Therefore, the optimization of this parameter is critically important for increasing the efficiency of transporting sand and other bulk materials.

Keywords: screw loader, radial clearance, conveyor, conveyor, analytical analysis.

Стаття надійшла до редакції / Received 19.11.2025

Прийнята до друку / Accepted 06.01.2026

Опубліковано / Published 05.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Поливаний Ігор, Золотий Роман, Микитів Юрій

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Шнекові навантажувачі широко застосовуються в агропромисловості, харчовій та хімічній промисловості для транспортування сипучих матеріалів. Висока ефективність таких пристроїв залежить від правильного вибору конструктивних параметрів, що потребує глибокого аналітичного аналізу. Традиційні

методи часто ґрунтуються на емпіричних залежностях, що не дозволяє забезпечити точність проектування в умовах змінних навантажень. Дослідження [1-3] свідчать про ефективність використання аналітичних та чисельних методів (зокрема методу кінцевих елементів) для моделювання процесів у шнекових навантажувачах. Проте більшість із них не враховує впливу змінного коефіцієнта тертя, деформацій елементів конструкції та нелінійних ефектів при транспортуванні матеріалів із різними фізико-механічними властивостями.

Зі зростанням потреби у підвищенні енергоефективності, автоматизації технологічних процесів і впровадженні "розумних" рішень, шнекові механізми стикаються з новими викликами і, водночас, відкривають нові горизонти для модернізації та вдосконалення. Сучасні наукові дослідження зосереджені на покращенні геометрії шнека, використанні інноваційних матеріалів, оптимізації змащування, зменшенні зносу та енергоспоживання, а також на інтеграції з цифровими системами моніторингу і управління [3].

У цьому контексті важливо оцінити не лише поточний стан розвитку шнекових механізмів, а й спрогнозувати їхній подальший розвиток з урахуванням технічних, економічних та екологічних факторів. Перспективи розвитку цих механізмів напряму пов'язані з прогресом у матеріалознавстві, комп'ютерному моделюванні та системах керування, що дозволяє створювати більш гнучкі, довговічні та енергоефективні рішення для промисловості майбутнього.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Опрацювання актуальності досліджень підходів до аналітичного аналізу конструкцій шнекових навантажувачів в наукометричній базі Web of Science Core Collection було сформульовано аналітичний запит у якому використано такі пошукові слова - TS=(“Screw loader”) OR TS=(“Auger”) AND (TS=(“analysis”) OR TS=(“Bulk materials”) OR TS=(“Screw conveyor”) OR TS=(“Material loading”) OR TS=(“Process optimization”) OR TS=(“Screw performance”) OR TS=(“Screw design”) OR TS=(“Material feeding”) OR TS=(“Wear of working elements”) OR TS=(“Loading automation”) OR TS=(“Screw spiral material”) OR TS=(“Transportation technology”)) AND (TS=(“Loading efficiency”) OR TS=(“Conveyor”) OR TS=(“Automation”) OR TS=(“Transportation”) OR TS=(“screw conveyor”) OR TS=(“bulk materials”) OR TS=(“technical characteristics”) OR TS=(“transport and loading machines”) OR TS=(“vibration loads in screw systems”) OR TS=(“diagnostics and monitoring of screw loaders”) OR TS=(“strength and durability of screw parts”)).

На наш пошуковий запит по даній тематиці в пошуковій платформі знайдено Web of Science Core Collection 92 наукових праць з 2016 по 2024 роки. Найбільша кількість літературних джерел по досліджуваній тематиці припадає на останні 4 роки. Зокрема в 2021 році – 13 наукових публікацій, 2022 – 8, 2023 – 6, 2024 – 5 (рис. 1). Над даною тематикою невпинно продовжують і надалі працювати багато науковців, адже шнекові навантажувачі широко застосовуються в аграрному, харчовому, хімічному та гірничодобувному секторах для транспортування сипучих матеріалів. Їхня конструкція впливає на експлуатаційні показники, включаючи продуктивність, витрати енергії та знос деталей. Аналітичний аналіз конструкцій дозволяє виявити оптимальні технічні рішення на етапі проектування.

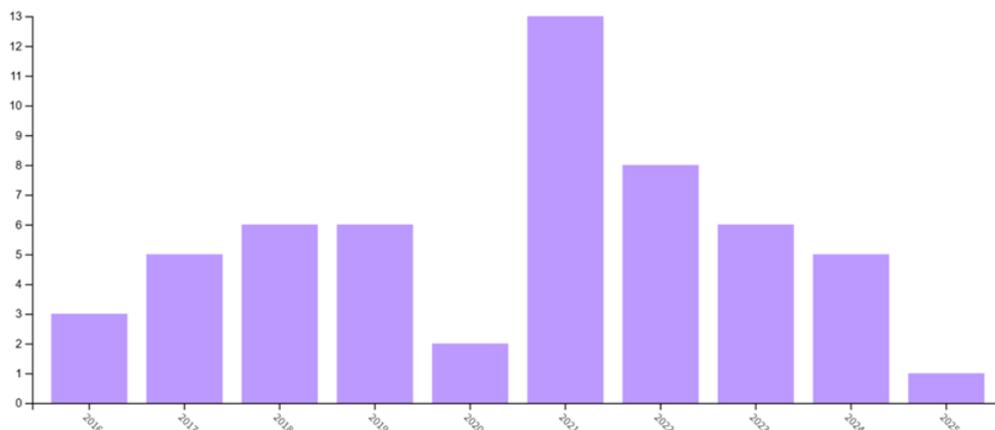


Рис. 1. Результати запити в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (загальна кількість праць за роками)

Серед наукових праць переважали дослідницькі статті в журналах – 71, та Proceeding Paper – 23 (рис. 2).

Select All <input type="checkbox"/>	Field: Document Types	Record Count	% of 92
<input type="checkbox"/>	Article	71	77.174%
<input type="checkbox"/>	Proceeding Paper	23	25.000%
<input type="checkbox"/>	Review Article	6	6.522%
<input type="checkbox"/>	Book Chapters	1	1.087%

Analyze Data Table

Рис 2. Результати запиту в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (види публікацій)

Категорії, у яких було видано найбільше статей: прикладна фізика – 21, матеріалознавство, багатопрофільний – 20, інженерна хімія – 11, хімія фізична - 10 (рис. 3).

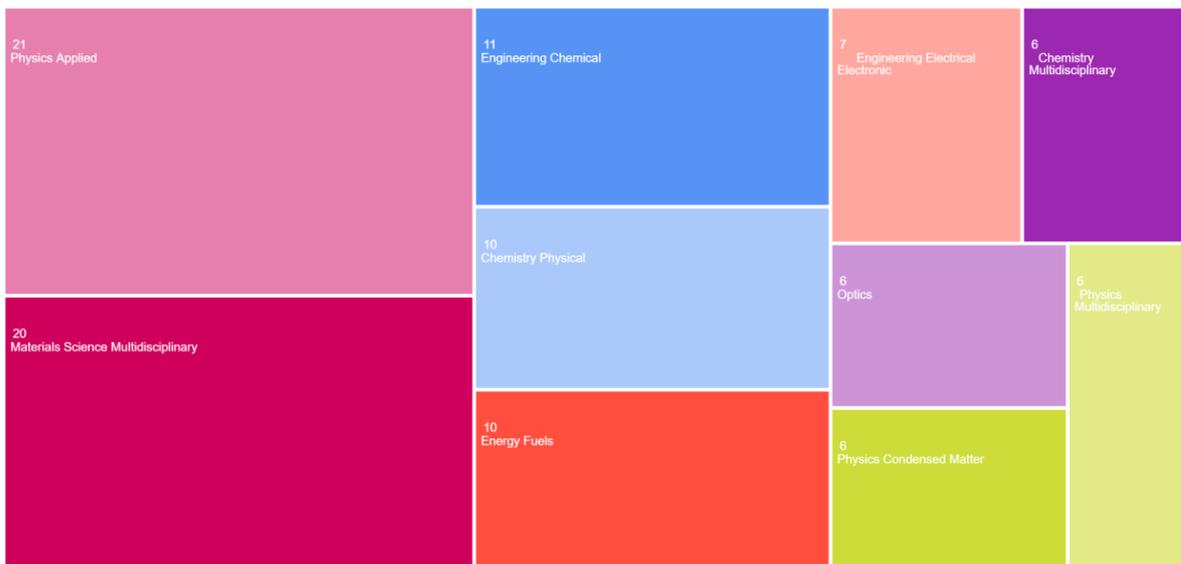


Рис 3. Результати запиту в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (категорії)

Профілі дослідників у вивченні даної проблеми: Lyashuk O.L. – 3, Pidubniak O. – 2, Zunger Alex – 2, Rackl Michael – 2, Tang Dewei – 2 наукових праць (рис. 4)

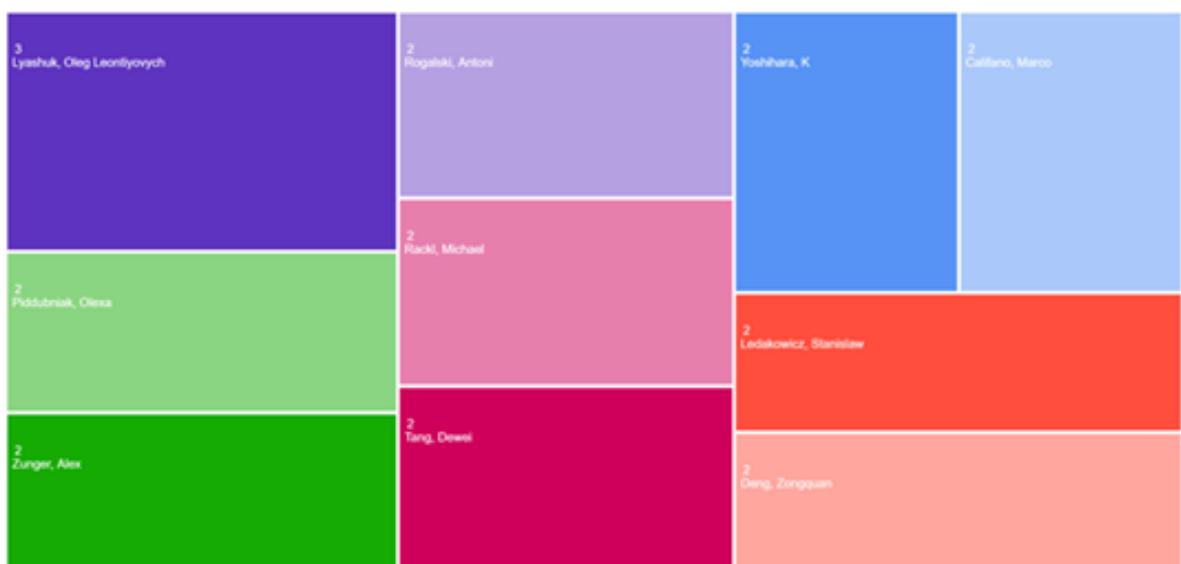


Рис 4. Результати запиту в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (профілі дослідників)

Рейтинг за назвами публікацій: Applied physics letters – 3, Powder technology – 3, Land -5, Proceedings of spie - 3 наукових робіт (рис. 5).



Рис. 5. Результати запиту в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (назви публікацій)

Кількість публікацій найбільша у науковців таких країн: США – 23, Китай – 20, Німеччина – 15, Польща – 7 робіт (рис. 6).



Рис. 6. Результати запиту в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (країни)

За напрямками досліджень виділяються: інженерія – 31, фізика – 31, матеріалознавство – 23, хімія – 18, енергетичне паливо – 10 наукових праць (рис. 7).



Рис. 7. Результати запиту в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (напрямки досліджень)

За кількістю публікацій та цитувань з 2012 року по 2025 рік отримано результати з найвищими показниками даних з 2017 по 2024 роки (рис.8). Звертаючи увагу на те, що кількість цитування є найбільшою протягом 4 останніх років, що підтверджує високий науковий інтерес до розвитку та модернізації шнекових навантажувачів.



Рис. 8. Результати запити в пошуковій платформі Web of Science Core Collection (рік публікації та цитування)

Проаналізувавши публікації за найвищим рейтингом цитування, отримали такі результати: найбільша зацікавленість науковців впродовж минулого року була до публікацій [4,5,6,7,8] - «Spectral and dynamical properties of multilexcitons in semiconductor nanocrystals» показник якої 848, «Highly efficient carrier multiplication in PbS nanosheets» - 246, «Microwave pyrolysis of biomass for bio-oil production: Scalable processing concepts» - 164, «Mechanism of suppression of Auger recombination processes in type-ii heterostructures» - 137, «Direct carrier multiplication due to inverse Auger scattering in CdSe quantum dots» показник якої 98.

Проаналізувавши кілька наукових праць можна стверджувати, що розвиток і вдосконалення шнекових конвеєрів є ключовим фактором для підвищення ефективності транспортування сипучих матеріалів, зокрема в умовах модернізації промислових об'єктів та впровадження новітніх технологій.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Шнекові транспортери є одним з найдавніших та найпоширеніших пристроїв для транспортування сипучих матеріалів. Вони застосовуються в багатьох галузях промисловості, зокрема у будівництві та гірничодобувній техніці [9]. Основний принцип їхньої роботи базується на використанні обертової гвинтової спіралі (шнека), що переміщає матеріал по трубі або U-образному жолобу (рис.9). Хоча конструкція шнекових транспортерів є досить простою, механіка їхньої роботи є складною і включає багато важливих факторів, таких як швидкість обертання шнека, нахил, радіальний зазор та інші.



Рис. 9. Базова структура конвеєра

Один з ключових аспектів роботи шнекового транспортера — це розмір радіального зазору. За теоретичними даними, чим менший цей зазор, тим точніший контроль над пропускною здатністю та менш ймовірність застрягання матеріалу. Проте, на практиці, дуже малий зазор може призвести до того, що сипучий матеріал не буде здатний пройти через нього, що спричинить застрягання і зупинку шнека. З іншого боку, більший радіальний зазор може зменшити продуктивність транспортування, оскільки буде менше матеріалу, що переміщається за один оберт шнека.

Дане дослідження полягає у вивченні впливу радіального зазору на продуктивність шнекового

транспортування піску. Для цього були проведені експерименти з різними параметрами, а саме швидкістю обертання шнека та радіальним зазором. Результати експериментів допомогли визначити оптимальні параметри для досягнення високої продуктивності при транспортуванні піску.

В результаті аналізу роботи конвеєра було проведено моделювання його роботи. Результати моделювання приведені на рис. 10.

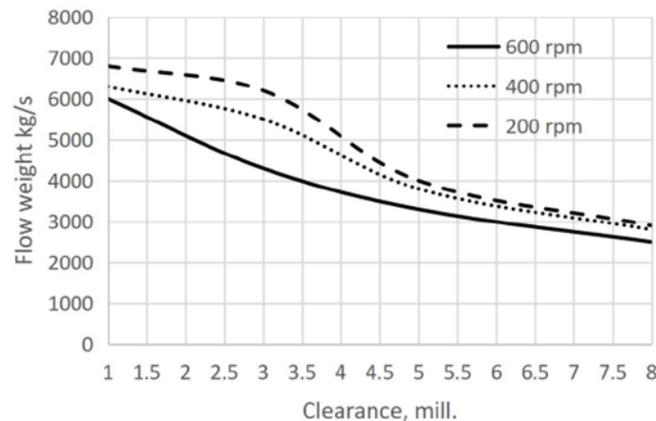


Рис. 10. Результати моделювання ваги потоку з різним радіальним зазором

Результати експериментальних досліджень роботи конвеєра при транспортування сипких вантажів приведені на рис. 11.

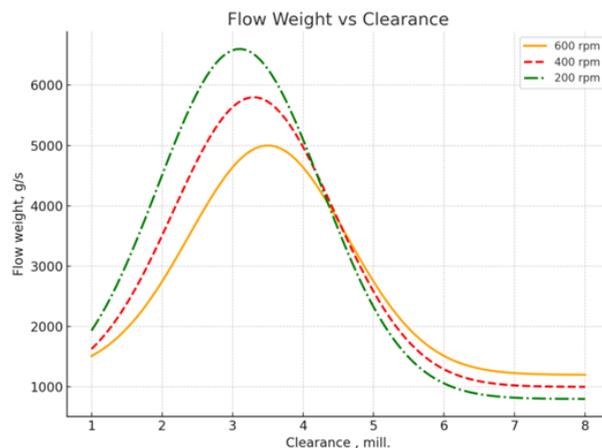


Рис. 11. Результати експериментальних досліджень ваги потоку з різним радіальним зазором

В результаті проведених експериментів було встановлено, що продуктивність шнекового транспортування залежить від розміру радіального зазору. При дуже малому зазорі ефективність транспортування знижувалась через застрягання матеріалу. Найкращі результати були отримані при зазорі, що в 1,5-2 рази більший за розмір частки матеріалу. Мінімальний радіальний зазор для забезпечення безперебійної роботи транспортера становить 3 міліметри. Для транспортування піску оптимальний зазор знаходиться в межах 3-5 міліметрів.

Дослідження впливу радіального зазору на продуктивність шнекового транспортера при транспортуванні піску показало, що ефективність системи значною мірою залежить від правильно підбраного зазору. При занадто малому зазорі (<3 мм) виникає явище заклинювання, що призводить до зупинки двигуна, зменшення швидкості обертання вала та потенційного пошкодження обладнання. У той же час, надто великий зазор (>5 мм) спричиняє зворотний потік матеріалу, що суттєво знижує продуктивність. Оптимальним виявився радіальний зазор у межах 3–5 мм, за якого забезпечується стабільна робота транспортера без втрати ефективності. Теоретичні розрахунки узгоджуються з експериментальними даними лише за умов відсутності заклинювань, тому подальші моделі повинні враховувати ймовірність механічного тертя між шнеком і корпусом.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Згідно з результатами експериментів, радіальний зазор є важливим параметром для забезпечення високої продуктивності шнекового транспортування піску. Найкращі результати досягались при зазорі, що в

1,5-2 рази перевищує розмір частки матеріалу, але не менше 3 міліметрів. Це дозволяє уникнути застрягання матеріалу та забезпечити безперебійну роботу шнекового транспорту. Отже, оптимізація цього параметра є критично важливою для підвищення ефективності транспортування піску та інших сипучих матеріалів.

В подальшому плануються дослідження роботи таких конвеєрів при вертикальному транспортуванні з можливістю регулювання продуктивності

References

1. H. Zareiforoush, M. H. Komarizadeh and M. R. Alizadeh, "A Review on Screw conveyors Performance Evaluation during Handling Process," *Journal of Scientific Review*, vol.2, no.1, pp. 55–63, 2010.
2. J. R. Metcalf, "The Mechanics of the Screw Feeder," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 180, no. 1, pp. 131–146, 1965, https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1965_180_015_02
3. A. J. Carleton, J. E. P. Miles and F. H. H. Valentin, "A Study of Factors Affecting the Performance of Screw Conveyers and Feeders," *Journal of Engineering for Industry*, vol. 91, no. 2, pp.329–333, 1969, <https://doi.org/10.1115/1.3591565>
4. Klimov, V. I. (2007). Spectral and Dynamical Properties of Multiexcitons in Semiconductor Nanocrystals. In *Annual Review of Physical Chemistry* (Vol. 58, Issue 1, pp. 635–673). Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.58.032806.104537>
5. Aerts, M., Bielewicz, T., Klinke, C., Grozema, F. C., Houtepen, A. J., Schins, J. M., & Siebbeles, L. D. A. (2014). Highly efficient carrier multiplication in PbS nanosheets. In *Nature Communications* (Vol. 5, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/ncomms4789>
6. Beneroso, D., Monti, T., Kostas, E. T., & Robinson, J. (2017). Microwave pyrolysis of biomass for bio-oil production: Scalable processing concepts. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 316, pp. 481–498). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.130>
7. Zegrya, G. G., & Andreev, A. D. (1995). Mechanism of suppression of Auger recombination processes in type-II heterostructures. In *Applied Physics Letters* (Vol. 67, Issue 18, pp. 2681–2683). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.114291>
8. Califano, M., Zunger, A., & Franceschetti, A. (2004). Direct carrier multiplication due to inverse Auger scattering in CdSe quantum dots. In *Applied Physics Letters* (Vol. 84, Issue 13, pp. 2409–2411). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.1690104>
9. R Wagner, "Bulk Material Characteristics, Material Code, Conveyor Size and Speed, Component Groups," in *Handbook of Screw Conveyor for Bulk Material*, Naples, FL, USA: Conveyor Equipment Manufacture Association, 2019, ch. 2, sec. 3, pp. 28–34.