

## **Компостирование: обзор промышленных технологий**

Компостирование – процесс разложения органических материалов под действием микроорганизмов. От процессов естественной деградации компостирование отличает наличие контролируемых условий, которые ускоряют разложение.

Компостирование помогает перерабатывать: навоз и птичий помет, растительные остатки, отходы целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, осадки сточных вод, а также бытовые и промышленные отходы. Конечный продукт – компост – используют в качестве субстрата для выращивания грибов или удобрения.

По данным сайта Союз Компост со ссылкой на аналитическое агентство DISCOVERY Research Group, объем рынка компоста в России на 2020 год составлял 1,5 млрд. рублей или 400 тысяч тонн субстрата. При этом доля компоста из собственного сырья не превышала 20%.

С введением санкций в 2022 году импорт компоста перешел от Польши и Литвы к Белоруссии, но необходимость развития собственного производства сохранилась.

Причины этого понятны. Компостирование в один прием решает сразу ряд задач:

1. Отходы предприятий становятся сырьем для производства нового продукта. Например, свежий куриный помет относится к 3 классу опасности, а перепревший – 4 классу. Для птицефабрик процесс его утилизации несёт дополнительные расходы. Однако если помет удастся продать, например для производства компоста, он становится не расходной, а доходной статьей предприятия.
2. Производители грибов, например шампиньонов, получают необходимый субстрат для выращивания продукции.
3. Агрохолдинги и личные подсобные хозяйства получают дешевое удобрение, которое улучшает физические, химические и биологические свойства почв.

Несмотря на эти преимущества, в законодательстве до сих пор отсутствует единый подход к технологическим операциям компостирования.

Цель обзора – дать краткую характеристику технологиям промышленного компостирования.

Прежде чем перейти к рассмотрению технологий, нам необходимо понять, что происходит при компостировании и какие факторы определяют этот процесс.

### **Фазы компостирования**

Компостирование состоит из трех этапов, которые определяются структурой сообщества микроорганизмов. У каждого сообщества свой температурный оптимум: у мезофилов – 20-40°C, у термофилов – больше 40°C. Смена сообществ при компостировании происходит так:

1. **Мезофильная фаза.** Микроорганизмы-мезофилы адаптируются к субстрату, их число возрастает. Повышается интенсивность разложения отходов и их температура. При этом выделяются органические кислоты.

*Индикатор окончания этапа:* рост температуры выше 40°C, понижение рН среды из-за выделения органических кислот.

2. **Термофильная фаза.** Когда температура превышает отметку в 40°C, мезофилы уступают место термофильным микроорганизмам. Термофилы продолжают разложение отходов. Температура возрастает до 55-60°C. При этом погибают патогенные микроорганизмы. Когда источники питания заканчиваются, микроорганизмы-термофилы погибают, а температура снижается.

*Индикатор окончания этапа:* снижение температуры ниже 40°C.

3. **Фаза созревания.** Численность мезофильных микроорганизмов восстанавливается. Сохранившиеся органические вещества образуют устойчивые к разложению комплексы.

*Индикатор окончания этапа:* компост приобретает запах свежей земли, становится темным и рассыпчатым.

## **Параметры компостирования**

Приготовление компоста начинается с этапа смешивания сырья. В смеси учитывают соотношение между углеродом и азотом в отходах. Углерод используется микроорганизмами как источник энергии, а азот – как материал для строительства белков. Избыток углерода приводит к уменьшению доступного для микроорганизмов азота. Если в смеси много азота, его потери возрастают из-за образования летучего аммиака. Поэтому рекомендуемое соотношение между этими элементами составляет 25:1 в пользу углерода.

Факторы, которые влияют на компостирование, приведены в таблице 1. Там же даны значения оптимальных величин. По ним не получится приготовить «идеальный» компост, так как величины оптимумов меняются в зависимости от типа сырья. Эта информация дает представление только об условиях компостирования.

Таблица 1. Параметры компостирования и их оптимальные значения

Параметр	Оптимальные величины
рН	5,-6,0 (в конце мезофильной стадии) до 9,0 (в термофильной стадии) 6,8-7,0 (для зрелого компоста)
Влажность	50-60%
Содержание кислорода	16 – 18,5%
Температура	<65°C (максимум в термофильной фазе)
Размер частиц	0,3-5,0 см
Размер бурта	≤1,5 м в высоту ≤ 2,5 м в ширину
Объем газовой фазы	≥30%

## Технологии компостирования

Теперь перейдем к технологиям. Существуют стационарные и мобильные технологии компостирования (рис. 1).



Рис. 1. Технологии промышленного компостирования.

Стационарные площадки для компостирования бывают открытого и закрытого типа.

На открытых площадках компост линейно располагают в буртах (рис. 2). Трудность открытого компостирования заключается в поддержании влажности и температуры буртов. Для предотвращения переувлажнения компостные бурты размещают в бетонных секциях с принудительной вентиляцией (рис. 3). Аэрация влияет на pH, температуру, влажность и содержание кислорода в буртах. Сохранить постоянные условия в буртах помогают мембранные тенты (рис. 4). Они защищают компост от осадков, но не затрудняют аэрацию.



Рис. 2. Стационарная площадка открытого компостирования<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Изображение взято из [https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen\\_doc/3644482/pub\\_5f5f6f334c4030243809164e\\_5f5f72fd4c403024380fdd2b/scale\\_1200](https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/3644482/pub_5f5f6f334c4030243809164e_5f5f72fd4c403024380fdd2b/scale_1200)

Рис. 3. Стационарная площадка открытого компостирования с принудительной вентиляцией<sup>2</sup>



Рис. 4. Стационарная площадка открытого компостирования с тентами из мембраны для накрытия компостных буртов<sup>3</sup>

Закрытые площадки для компостирования располагают в ангарах (рис. 5). Поэтому процесс не зависит от погодных условий, а компосты производят круглый год. Приемы контроля и управления параметрами в открытой и закрытой технологиях похожи (таблица 2).

Отличие заключается в том, что в закрытом ангаре управляют как характеристиками буртов, так и окружающей их среды. Например, температурой воздуха и содержанием газов. Это позволяет ускорить процесс

---

<sup>2</sup> Изображение взято из <https://static.bnr.bg/gallery/cr/medium/7cbcaa154ca8c359d7c467382df2e00a.jpg>

<sup>3</sup> Изображение взято из [https://sun9-70.userapi.com/impf/OdTWCyO5BMTzbOwh46JxdT\\_jAsik1OZEqr3OBQ/bYyJk\\_O7oig.jpg?size=1200x778&quality=95&sign=762b8b3a29f617c861fa49662abf8cfd&c\\_uniq\\_tag=cRjzcS7a2Gag9qUALsremRarApsXs-FLXmYCB27KJvo&type=album](https://sun9-70.userapi.com/impf/OdTWCyO5BMTzbOwh46JxdT_jAsik1OZEqr3OBQ/bYyJk_O7oig.jpg?size=1200x778&quality=95&sign=762b8b3a29f617c861fa49662abf8cfd&c_uniq_tag=cRjzcS7a2Gag9qUALsremRarApsXs-FLXmYCB27KJvo&type=album)

компостирования в 3 раза<sup>4</sup>: с 42 дней на открытой площадке до 14 дней на закрытой.



Рис. 5. Стационарная площадка закрытого компостирования<sup>5</sup>.

Таблица 2. Управление параметрами компостирования на стационарных площадках.

Параметр	Открытое компостирование	Закрытое компостирование
рН	Ворошение бурта	Ворошение бурта
	Принудительная аэрация	Принудительная аэрация
Влажность	Ворошение	Ворошение

<sup>4</sup> По данным сайта <https://agrocompost.ru/>

<sup>5</sup> Изображение взято из <https://ecowiki.ru/wp-content/uploads/2020/01/10-e1579124594904.jpg>

	Увлажнение или добавление влажных отходов	Увлажнение или добавление влажных отходов
	Добавление сухих компонентов (сухой торф, опилки и др.)	Добавление сухих компонентов (сухой торф, опилки и др.)
	Принудительная аэрация	Принудительная аэрация
Содержание кислорода	Ворошение	Ворошение
	Увлажнение или добавление влажных отходов	Увлажнение или добавление влажных отходов
	Добавление сухих компонентов (сухой торф, опилки и др.)	Добавление сухих компонентов (сухой торф, опилки и др.)
	Принудительная аэрация	Принудительная аэрация
	—	<b>Система отвода газов из помещения</b>
Температура	—	<b>Контроль температуры ангара</b>
	Ворошение	Ворошение
	Увлажнение	Увлажнение
	Принудительная аэрация	Принудительная аэрация

Достоинство технологии открытого компостирования заключается в его дешевизне по сравнению с закрытой технологией, так как она не требует постройки капитальных сооружений. С учетом сезонного характера производства данную технологию целесообразно использовать для выпуска удобрений, когда в текущем году закладывают компост для продаж в будущем. При этом сохраняется вопрос хранения готового продукта.

Технология закрытого компостирования подходит в случаях, когда важен не только конечный продукт, но и бесперебойный характер

производства. Например, при переработке коммунальных отходов, которые поступают на площадки круглый год.

Мобильные реакторы для компостирования разработаны для переработки малых объемов органических отходов (рис. 6). Для сравнения: объем переработки при открытом компостировании составляет 350 000 тонн в год, в закрытой 100 000 тонн в год, а участок из 16 мобильных реакторов – 3000 тонн в год<sup>6</sup>. Цикл компостирования в мобильных реакторах составляет 42 дня, что идентично открытому компостированию.



Рис. 6. Мобильный реактор для компостирования фирмы Compost Systems<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Данные по объему отходов для стационарных площадок взяты из <https://agrocompost.ru/>, для биореакторов - <https://pirolizothodov.ru/bioreaktor>

<sup>7</sup> Изображение взято из [https://www.compost-systems.com/sites/default/files/2020-12/loesungen\\_uebersicht\\_kompostierung\\_06.jpg](https://www.compost-systems.com/sites/default/files/2020-12/loesungen_uebersicht_kompostierung_06.jpg)

Сам реактор состоит из: контейнера, мембраны для накрытия компоста, вентиляторов или аэраторов, системы контроля за состоянием сырья: датчиков температуры, давления и панели управления.

Мобильные реакторы полезны в случаях, когда предприятие специализируется на утилизации отходов других фирм. В этом случае переработчик отправляет на место реактор, куда загружают отходы. С момента вывоза начинается переработка отходов. Показания датчиков, которые регистрирует панель управления, указывают на степень завершенности переработки. Их можно использовать в качестве подтверждения утилизации отходов при передаче отчетов в надзорные органы.

На момент написания этой статьи, по данным ТАСС, в России построено 17 из 200 запланированных площадок для промышленного компостирования. Увеличение объектов компостирования позволит снизить нагрузку на полигоны твердых бытовых отходов на 20%, что эквивалентно 11 млн тонн отходов. В крупных городах конечный продукт – компост – будет полезен для озеленительных работ, подкормки зеленых насаждений, а также восстановления нарушенных при застройке территорий.

### Список литературы

1. В РЭО заявили, что компостирование снизит объемы захоронения отходов на 11 млн тонн в год // ТАСС : сайт. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/16315411>
2. Искусство и наука компостирования // Прогресс энерго : сайт. – URL: [https://pirolizothodov.ru/kompostirovanie\\_obzor](https://pirolizothodov.ru/kompostirovanie_obzor)
3. Мобильный контейнерный биореактор // Прогресс энерго : сайт. – URL: <https://pirolizothodov.ru/bioreaktor>
4. Неклюдов А. Д., Федотов Г. Н., Иванкин А. Н. Интенсификация процесса компостирования при помощи аэробных микроорганизмов

- (обзор) //Прикладная биохимия и микробиология. – 2008. – Т. 44. – №. 1. – С. 9-23.
5. Почему куриный помет считается агрохимикатом // АгроXXI : сайт. – URL: <https://www.agroxxi.ru/zhivotnovodstvo/stati/pochemu-kurinyi-pomet-schitaetsja-agrohimikatom.html#:~:text=Согласно%20ст.1%20Федерального%20закона%20от,-%20к%204%20классу%20опасности>
6. Рынок компоста // Союз Компост : сайт. – URL: <https://compostpro.ru/compost-market>