

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВПО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М.М. БЕЗЗУБЦЕВА, В.С. ВОЛКОВ, А.Г. ПИРКИН, С.А. ФОКИН

**ЭНЕРГЕТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В АПК**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2011

УДК 621.311(07)
ББК 40.76

Составители: М.М. Беззубцева, В.С. Волков, С.А. Пиркин, С.А. Фокин
Рецензенты: д.т.н., проф. С.А. Ракутько; д.т.н., проф. Орлов

М.М. Беззубцева, В.С. Волков, А.Г. Пиркин, С.А. Фокин
А24: Энергетика технологических процессов в АПК. – СПб: СПбГАУ, 2011.
265 с.

Рекомендованы к изданию УМК энергетического
факультета (протокол № 1.1 от 18.10.2011г.)

В учебном пособии рассмотрены фундаментальные законы, положенные в основу формирования, протекания, интенсификации и повышения энергоэффективности технологических процессов АПК. Особое внимание уделено основам системного анализа, методологии выявления основных факторов, определяющих энергоемкость продукции. Представлены методики оценки энергоэффективности электротехнологических процессов (ЭТП) сельскохозяйственного производства. Учебное пособие составлено в соответствии с рабочими программами дисциплины «Энергетика технологических процессов в АПК» и предназначено для магистров энергетического факультета, обучающихся по специальности «Агроинженерия». Учебное пособие также может быть использовано студентами, аспирантами, научными сотрудниками и инженерами, работающими в различных областях АПК.

УДК 621.311(07)
ББК 40.76

ISBN 978-5-85-983-146-3

© М.М.Беззубцева,
В.С. Волков
А.Г. Пиркин
С.А. Фокин

© СПбГАУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава 1. Теоретические основы технологических процессов, как базового элемента оценки энергоэффективности производств агропромышленного комплекса	10
1.1. Классификация и виды энергетических воздействий	10
1.2. Закономерности энергетических воздействий	20
1.3. Классификация традиционных технологических процессов АПК	23
1.4. Стационарные и нестационарные технологические процессы АПК	25
1.5. Способы организации технологического процесса	26
1.6. Системный подход к проблеме повышения энергоэффективности производства сельскохозяйственной продукции	28
1.7. Законы сохранения, переноса субстанций и термодинамического равновесия. Материальные и энергетические балансы	34
1.8. Законы равновесия. Равновесное состояние, направление протекания и движущая сила технологического процесса	47
1.9. Кинетические закономерности процессов переноса субстанций	54
1.10. Основы теории подобия процессов преобразования энергии	56
Глава 2. Методы интенсификации и оценки энергоэффективности технологических процессов сельскохозяйственного производства	63
2.1. Основные понятия интенсификации технологических процессов	63
2.2. Метод формального анализа параметров, влияющих на интенсивность	69
2.3. Классификация и способы построения моделей технологических процессов	72
2.4. Методология компьютерного моделирования	84
2.5. Методика оценки энергоэффективности при интенсификации электротехнологических процессов (ЭТП) сельскохозяйственного производства	90

Глава 3 .	Теоретические основы энергетики процесса измельчения и инженерные энергетические расчеты измельчающего оборудования	93
3.1.	Основные положения процесса измельчения	93
3.2.	Энергетический баланс измельчителя	97
3.3.	Анализ энергетических теорий процесса измельчения	100
3.4.	Энергетическая эффективность процессов тонкого измельчения	111
3.5.	Инженерные энергетические расчеты измельчающего оборудования	113
Глава 4.	Теоретические основы энергетики ректификации	121
4.1.	Общие положения процесса ректификации	121
4.2.	Энергоемкость продуктов ректификации Материальные и тепловые балансы	126
4.3.	Диаграммы равновесия	130
4.4.	Влияние флегмового числа на расход теплоты. Методика определения оптимального флегмового числа и минимальных энергозатрат на основе техничко – экономических расчетов	132
4.5.	. Пути экономии энергии в ректификационных установках	136
Глава 5.	Теоретические основы энергетики процесса сушки	140
5.1.	Классификация сушки по способу подвода энергии	140
5.2.	Движущая сила процесса сушки	141
5.3.	Направление протекания процессов переноса влаги	142
5.4.	Кинетические закономерности, периоды и продолжительность технологического процесса сушки	143
5.5.	Определение энергоэффективности сушильной установки	147
5.6.	Энергетический анализ вариантов организации процесса конвективной сушки	157
5.7.	Пути экономии энергии в технологическом процессе сушки	165
Глава 6.	Теоретические основы энергетики процесса выпаривания	167
6.1.	Общие сведения	167

6.2.	Анализ энергоэффективности однократного выпаривания. Материальный и тепловой балансы однокорпусной выпарной установки непрерывного действия	170
6.3.	Энергосбережение в многокорпусных выпарных установках (МВУ)	179
6.4.	Влияние числа корпусов МВУ на коэффициент энергоэффективности. Технико-экономический анализ предельного и оптимального числа корпусов	184
6.5.	Пути экономии энергии при выпаривании	193
Глава 7.	Энергетика технологического процесса перемешивания	206
7.1.	Методы и характеристики перемешивания	206
7.2.	Классификация перемешивающих устройств	208
7.3.	Расход энергии на перемешивание	218
7.4.	Выбор частоты вращения перемешивающего органа при перемешивании	225
7.5.	Определение энергоэффективного рабочего режима мешалок	227
	Приложения	234
Приложение 1.	Основные термины и определения	234
Приложение 2.	Критерии подобия	238
Приложение 3.	Правила пользования I-d диаграммой	241
Приложение 4.	Рекомендации по стандартизации. Методы подтверждения показателей энергетической эффективности	244
	Библиографический список	259

ПРЕДИСЛОВИЕ

В современных условиях роста стоимости энергетических ресурсов особую актуальность приобретает оценка энергетической эффективности промышленных технологий агропромышленного комплекса и повышение эффективности использования энергии у потребителя.

Расход энергии у потребителя является универсальным показателем, определяющим, в конечном итоге, энергоэффективность всего производства. Энергетический анализ процессов - это механизм, способствующий становлению энергосберегающих технологий, стимулирующих более эффективное использование энергоресурсов.

Технологическую линию промышленных предприятий АПК целесообразно рассматривать как энергетическую линию, состоящую из отдельных элементов – электротехнологического оборудования (машин, агрегатов, аппаратов и т.п.).

Электротехнологическое оборудование (ЭТО) обеспечивает энергетическое воздействие на обрабатываемую среду (материальный объект). При этом энергетическое воздействие проявляется в виде направленного воздействия сил различных физических полей (акустических, электрических, магнитных, тепловых, механических, радиационных, химических и др.).

Результат энергетических воздействий в конечных элементах энергетической линии – это эффекты, проявляющиеся в жидкости, газе, твердых телах или в гетерогенных смесях. Эти эффекты являются определяющими в назначении потребленной энергии.

При постоянстве условий, вида воздействий и свойств обрабатываемой среды проявляются одни и те же результаты воздействия, т.е. прослеживаются общие закономерности, позволяющие составить алгоритмы расчета востребованных затрат энергии на микроскопическом уровне энергетической системы потребителя – в процессе, реализованном в электротехнологическом оборудовании и обеспечивающим заданный условиями производства технологический эффект в материальном объекте.

Энергетический коэффициент полезного действия процесса - это отношение затрат энергии на создание воздействия в ЭТО к энергозатратам, востребованным для достижения заданного технологического эффекта в материальном объекте. Коэффициент полезного действия процесса позволяет анализировать энергоэффективность производственного электротехнологического оборудования (машин, аппаратов, агрегатов и т.п.). В некоторых аппаратах, например, даже в современных конструкциях электромеханических мельниц АПК (молотковых, бильных, дезинтеграторах, дисмембраторах и т.д.) коэффициент полезного действия процесса измельчения составляет 1% . Востребованная энергия процесса измельчения в данном оборудовании – это энергия, затрачиваемая на образование новых поверхностей обрабатываемого материала. Эти данные свидетельствуют о несовершенстве электротехнологического оборудования и, прежде всего, о неэффективности использованных в них энергетических воздействий. Ресурс энергосбережения составляет 99%.

Сельское хозяйство характеризуется весьма большим числом разнообразных производств, различающихся условиями протекания технологических процессов и многообразными свойствами продукции. Вместе с тем технологические процессы представляют собой комбинацию сравнительно небольшого числа типовых процессов, которые в зависимости от законов, определяющих их скорость или кинетические закономерности, классифицированы в четыре основные группы (механические, тепловые, гидромеханические и массообменные). Эти процессы реализованы в

электротехническом оборудовании различных конструктивных модификаций. Между тем, закономерности их протекания, несмотря на многообразие оборудования и целевое назначение выпускаемой продукции, описываются типовыми законами, что значительно упрощает расчет и анализ энергетических параметров. Протекание всех групп процессов связано с переносом субсанций – количества импульса, энергии и массы.

Целью учебного пособия является обучение студентов:

- фундаментальным законам, положенным в основу формирования, протекания, интенсификации и повышения энергоэффективности технологических процессов;
- основам системного анализа при изучении энергетики технологических процессов АПК;
- методологии расчета энергоемкости продукции на основании решений балансовых уравнений;
- методологии выявления и анализа основных факторов, определяющих энергоемкость продукции;
- обоснованию направлений интенсификации процесса, как с точки зрения снижения энергоемкости, так и обеспечения заданного технологией качества продукции;
- основам моделирования технологических процессов;
- основам оптимизации энергетических воздействий по выходным параметрам – энергоемкость продукции и энергоэффективность производства;
- методике оценки энергоэффективности при интенсификации электротехнологических процессов (ЭТП) сельскохозяйственного производства.

Овладение наукой об энергетике технологических процессов в АПК позволяет обосновано решать следующие задачи:

1. При эксплуатации действующих производств АПК:

- выбирать наилучшие (оптимальные) технологические режимы ЭТО;
- снижать энергоемкость продукции;
- повышать коэффициент энергоэффективности электротехнологического оборудования.

Повышение производительности электротехнологического оборудования, улучшение качества продукции, решение экологических проблем, снижение себестоимости продукции - составляющие энергоэффективности предприятий АПК.

2. При проектировании новых производств АПК:

- разрабатывать энергоэффективные и малоотходные технологические схемы;
- выбирать наиболее рациональные типы аппаратов.

3. Производить технически грамотный и научно обоснованный расчет выбранного оборудования с использованием современных компьютерных технологий, а также разрабатывать принципиально новые методы расчета электротехнологических процессов и оборудования, реализующего эти процессы.

4. При проведении научно-исследовательских работ изучать основные факторы, определяющие снижение энергоемкости процессов, получать обобщенные зависимости для их расчета и внедрять результаты исследований в производство.

Учебное пособие предназначено для магистров энергетического факультета, а также может быть использовано студентами, аспирантами, научными сотрудниками и инженерами, работающими в различных областях АПК.

Г л а в а 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, КАК БАЗОВОГО ЭЛЕМЕНТА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

1.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Под воздействием на обрабатываемую среду (систему) будем понимать направленное проявление сил различных физических полей: механических, электрических, магнитных, тепловых, акустических и радиационных (сводка основных воздействий и их результатов дана в табл. 1.1 [1]).

Воздействие всегда направлено на некоторый материальный объект, которым может быть отдельный элемент или совокупность взаимосвязанных элементов, образующих определенную систему. Некоторые из этих воздействий взаимосвязаны друг с другом, например, электрические и магнитные воздействия.

Т а б л и ц а 1.1. Классификация энергетических воздействий

Виды воздействий	Факторы воздействий	Физико-химические эффекты	Результаты воздействия
1	2	3	4
Электрические	Электрические поля различной структуры	Электросепарация, электрофорез, электроосмос, эффект Юткина, электрокоагуляция, электрохимические эффекты, электронагрев	Изменение физико-химических параметров, трансформация электроэнергии в механическую, тепловую, электрическую, химическую и др. энергии
Магнитные	Магнитные поля различной структуры	Эффект РигиЛедюка, магнитосепарация, магнитогидродинамический эффект, магнито-химические эффекты	Изменение физико-химических параметров, трансформация магнитной энергии в механическую, тепловую, электрическую и др. энергии

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4
Акустические	Упругие и квазиупругие колебания в жидкости	Акустические волны, акустическая турбулентность, кавитация, кумулятивный эффект, звукохимические реакции, резонанс, расклинивающее давление, автоколебания, капиллярный эффект	Пульсации давления, кумулятивный удар, изменение физико-химических свойств, активация, трансформация акустической энергии в механическую, сонолиз
Тепловые	Нагрев, охлаждение (тепловые потоки)	Теплопередача, теплопроводность, тепловое излучение, конвекция, эффект Соре, эффект Марангони, термоэффекты	Кипение, конденсация, фазовые переходы, инверсия фаз, изменение физико-химических параметров, трансформация тепловой энергии в механическую, радиационную и др.
Световые и радиационные	Электромагнитные волны, инфракрасное, световое, ультрафиолетовое, рентгеновское, γ -излучение	Ионизация, энергетическая накачка, фотохимические реакции, возбуждение молекул	Изменение физико-химических свойств вещества, активация, излучение, трансформация энергии излучения в тепловую и др.
Механические	Удар, сдвиг, сжатие, растяжение, вибрация, формирование потоков с определенной траекторией, скоростью и ускорением	Гидроудар, турбулентность, эффект Кармана, трибоэффект, эффект Рейнольдса, автоколебания, активация, накопление дефектов структуры, концентрация напряжений	Пульсации давления и скорости потока жидкости, трансформация кинетической энергии в потенциальную и др., энергетическая накачка

Результаты энергетических воздействий – это эффекты в элементах системы, на которые направлены воздействия, т.е. эффекты, проявляющиеся в жидкости, газе, твердых телах или в гетерогенной смеси. При постоянстве условий, вида воздействия и свойств обрабатываемой среды проявляются одни и те же результаты воздействия.

Электрическое воздействие

Электрическое воздействие осуществляется за счет электрических полей различной структуры: постоянные (однородные и неоднородные); переменные (бегущие); скрещивающиеся (электрические и магнитные) [2]. ТП с использованием электрических полей можно разделить на процессы, которые осуществляются только за счет электрического поля (электродиализ, электроосмос и т.д.), и процессы, которые интенсифицируются электрическим полем (сушка, экстракция, кристаллизация и т.п.).

Электрические (электромагнитные) поля характеризуются частотой (промышленные частоты – 50 Гц, 60 Гц; поле токов высокой частоты – до 300 МГц; поля токов сверхвысокой частоты – от 0,3 до 30 ГГц), напряжением или силой тока, длительностью воздействия.

Электрическое поле воздействует на дипольные молекулы жидкостей и газов. При этом возникают пондеромоторные силы, вызванные наложением полей, поляризационные заряды, направление которых обусловлено разностью диэлектрической проницаемости среды. Эти силы изменяют поверхностное натяжение жидкостей [3-5]. Протекание электрического тока через электролиты приводит к электролизу. В коллоидных системах и капиллярнопористых телах наблюдаются такие процессы, как электрофорез, электроосмос, электродиализ, электрокоагуляция, ионофорез и др. [2]. Воздействие электрического тока на проводящие среды вызывает их нагрев за счет выделения тепла и пробой при высоких напряжениях [5].

Таким образом, электрическое поле в обрабатываемой среде вызывает следующие физико-химические эффекты:

- *электросепарация* – разделение гетерогенной среды за счет разности электропроводности фаз;
- *электрофорез* – перенос частиц в электрическом поле вследствие наличия разноименных зарядов у твердой и жидкой фаз;
- *электроосмос* – перемещение жидкости вдоль стенок капилляра под действием приложенной ЭДС;
- *эффект Юткина* (электрогидравлический удар) – генерация ударных волн в жидкости при ее электрическом пробое [6];
- *электрокоагуляция* – процесс сближения и укрупнения взвешенных в жидкости или газе частиц под действием электрического поля;
- *электрохимические эффекты* – химические превращения под действием электрического тока (электролиз);
- *электронагрев* – выделение тепла за счет прохождения через обрабатываемую среду электрического тока.

При электрическом воздействии на вещество возможно его преобразование в механическое, тепловое, химическое, акустическое, магнитное и радиационное воздействия.

Магнитное воздействие

Магнитное воздействие аналогично электрическому. Действие магнитного поля вызывает уменьшение электрической проводимости, возрастание плотности, вязкости, поверхностного натяжения, диэлектрической проницаемости, магнитной восприимчивости [7-9]. Под действием магнитного поля меняются свойства воды и водных растворов [8]. Магнитное воздействие является, в основном, оптимизирующим для ТП и вызывает относительное движение фаз в обрабатываемой среде. Если дисперсной фазой являются ферромагнитные частицы, то они перемещаются под действием сил магнитного поля. При этом возможна их агрегация. Если дисперсная фаза – газовые пузырьки, то происходит их взаимодействие с

ионами, что вызывает их коагуляцию, всплытие, дегазацию. Если дисперсная фаза – неферромагнитные частицы, то изменяется условие их движения [7].

Магнитное поле вызывает такие эффекты, как:

- *эффект Риги-Ледюка* – увеличение теплопроводности среды в магнитном поле;
- *магнитосепарация* – разделение гетерогенной среды за счет разности магнитопроницаемости фаз;
- *магнитогидродинамический эффект* – возникновение электрического тока в замкнутой цепи при движении электропроводной жидкости в магнитном поле;
- *магнитофизикохимические эффекты* – изменение свойств обрабатываемой среды за счет омагничивания.

Акустическое воздействие

Акустическое воздействие представляет собой распространение в обрабатываемой среде упругих или квазиупругих колебаний [10]. Акустические колебания различают на инфразвуковые (частота $f < 20$ Гц), звуковые ($20 \text{ Гц} \leq f \leq 20 \cdot 10^3 \text{ Гц}$), ультразвуковые ($20 \cdot 10^3 \text{ Гц} < f \leq 20 \cdot 10^8 \text{ Гц}$), гиперзвуковые ($f > 20 \cdot 10^8 \text{ Гц}$). Для применения в промышленности наиболее часто используются колебания с частотами звукового и ультразвукового диапазонов.

Акустические волны интенсифицируют:

- в гидромеханических процессах – процессы отстаивания, флотации, осаждения, диспергирования, эмульгирования, перемешивания, пеногашения, дегазации.
- в тепловых процессах – процессы нагревания, охлаждения, выпаривания, испарения, горения.

- в массообменных процессах – процессы кристаллизации, сушки, растворения, набухания, абсорбции, адсорбции, экстракции, выщелачивания.
- в механических процессах – процессы экструдирования, литья, формования, диспергирования [11].

В зависимости от заложенного в принцип работы физического эффекта, различают следующие виды акустических излучателей: пьезоэлектрические, магнитострикционные, электродинамические, гидродинамические [10, 11 – 12].

Акустическое воздействие вызывает такие эффекты как:

- *акустические волны* – периодическое изменение давления в каждой точке жидкости;
- *акустическая турбулентность* – пульсации скорости и давления жидкости при ее течении за счет акустического давления;
- *кавитация* – разрыв сплошности жидкости под действием растягивающих напряжений, приводящих к образованию пузырьков, наполненных газом и паром;
- *кумулятивный эффект* – усиленное в определенном направлении импульсное динамическое воздействие, например, схлопывание кавитационного пузырька с выбросом в определенном направлении микроструйки жидкости;
- *звукохимические реакции* – химические превращения вещества под действием акустического поля (сонолиз);
- *резонанс* – возрастание амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты вынужденных колебаний с собственной частотой колебательной системы.

При акустическом воздействии происходит инициирование других воздействий – механического, теплового, химического.

Тепловое воздействие

Тепловое воздействие на обрабатываемую среду осуществляется, как правило, за счет передачи теплоты от теплоносителя. Теплоноситель может быть подведен как через разделяющую стенку, так и непосредственно в жидкость или газ. Нагревание жидкости может быть также произведено за счет других видов воздействий – акустического, механического, электромагнитного и радиационного. Процессы, скорость протекания которых определяется скоростью подвода или отвода теплоты, называют тепловыми. Тепловой процесс может быть реализован как нагреванием, так и охлаждением.

Перенос теплоты является сложным процессом, поэтому при исследовании тепловых процессов их разделяют на более простые явления [13]. Различают три вида переноса теплоты: теплопроводность, тепловое излучение и конвекция. При теплопроводности перенос теплоты происходит путем непосредственного соприкосновения между микрочастицами (молекулами, атомами, электронами). Явление теплового излучения – это процесс распространения энергии с помощью электромагнитных колебаний.

Конвекция состоит в том, что перенос теплоты осуществляется вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов фазы. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью.

Тепловое воздействие на вещества вызывает следующие эффекты:

- *кипение* – образование парогазовых пузырьков в жидкости;
- *фазовый переход* – изменение фазового состояния вещества;
- *инверсия фаз* – переход дисперсной фазы в сплошную и наоборот (при концентрациях фаз, близких к предельным);
- *эффект Соре* (термическая диффузия) – перенос вещества за счет теплопроводности;
- *термоэффекты* – изменение физико-химических свойств веществ за счет нагревания или охлаждения;

- *эффект Марангони* – непостоянство коэффициента поверхностного натяжения в зависимости от температуры или концентрации вещества;
- *структурообразование* – формирование регулярных структур за счет тепловых потоков (например, ячейки Бенара).

Механическое воздействие

Под механическим воздействием будем понимать непосредственно механическое воздействие твердых тел на обрабатываемую среду и содержащиеся в ней частицы. Наряду с тепловыми, электрическими, акустическими и другими видами энергетических воздействий, механическое воздействие на вещества может считаться эффективным средством повышения активности веществ, ускоряя химические и массообменные процессы [14]. Механическая активация – это процесс поглощения веществом части подводимой механической энергии, которая, накапливаясь в веществе, меняет его свойства и стимулирует физико-химические процессы. Наиболее эффективна механическая активация за счет свободного удара (в том числе гидравлического) и напряжений трения.

Механические воздействия делятся на три класса:

- линейные перегрузки;
- вибрационные воздействия;
- ударные воздействия.

Линейными перегрузками называют кинематические воздействия, возникающие при ускоренном движении источника колебаний. Например, в транспортных машинах при изменении скорости и ускорения.

Вибрационные воздействия являются колебательными процессами. Вибрационные воздействия делятся на стационарные, нестационарные и случайные. Простейшим видом стационарного вибрационного воздействия является гармоническое воздействие.

Высокочастотные вибрационные воздействия могут передаваться объекту не только через элементы механических соединений его с

источником, но и через окружающую среду (воздух, воду). Такие воздействия называются акустическими.

Случайные вибрационные возбуждения не являются полностью предсказуемыми как гармоническое или полигармоническое воздействия. Стохастический сигнал не может быть представлен графически наперед заданным, так как он обусловлен процессом, содержащим элемент случайности.

Ударными называют кратковременные механические воздействия, в которых максимальные значения сил являются весьма большими. Функцию, выражающую зависимость силы, момента силы или ускорения при ударе от времени, называют формой удара. Основными характеристиками формы являются длительность удара и его амплитуда.

Механическое воздействие вызывает такие эффекты, как:

- *турбулентность* – интенсивное перемешивание жидкости, пульсации скорости и давления в жидкости при ее течении;
- *гидроудар* – результат резкого изменения давления в жидкости, вызванный изменением скорости ее течения;
- *эффект Кармана* (вихреобразование) – периодический срыв вихрей при обтекании тела потоком жидкости;
- *трибоэффект* – преобразование механической энергии в тепловую при относительном движении тел и фаз;
- эффект Рейнольдса – увеличение тепломассоотдачи за счет увеличения скорости потока;
- автоколебания – возникновение колебаний в системе за счет преобразования энергии постоянного движения в колебательную.

Радиационное воздействие

Радиационное воздействие на обрабатываемую среду осуществляется электромагнитными волнами длинами менее 10 мм и потоками частиц больших энергий. К радиационному воздействию относится также оптическое воздействие. Указанный спектр волн включает в себя

электромагнитные волны, начиная с частоты 1010 Гц, инфракрасной, видимой, ультрафиолетовой области и рентгеновского излучения, заканчивая гамма-излучением с частотой 1019 Гц [10].

В этом диапазоне свет проявляет как корпускулярные, так и волновые свойства. Радиационное воздействие включает как электромагнитное (рентгеновское и γ -излучение), так и корпускулярное излучение (ускоренные электроны, быстрые заряженные частицы). Источниками радиационного воздействия служат радиоактивные изотопы и специальные ускорители частиц.

Эффект от радиационного воздействия зависит от длины волны и от типа радиационного воздействия. Длинноволновое излучение вызывает в основном нагрев обрабатываемых веществ, а коротковолновая часть спектра может вызвать фотохимические реакции. Потоки заряженных частиц производят ионизацию и возбуждение молекул облучаемого вещества при столкновениях, а при облучении тральными частицами или фотонами, в основном, первоначально образуются заряженные частицы, которые осуществляют ионизацию и возбуждение молекул. Для количественной оценки воздействия ионизирующего излучателя на вещество используют ряд специальных характеристик [15, 16].

Химическое воздействие

Химическое воздействие на обрабатываемую среду осуществляется за счет внесения веществ или прохождения обрабатываемой среды через вещества, которые вызывают изменение ее физико-химических свойств, инициируют или ускоряют химические реакции (катализаторы), вступают в химическое взаимодействие с самой обрабатываемой средой или с ее компонентами. Химическое воздействие относится к сфере фундаментальных химических наук и более детальное рассмотрение механизма этого вида воздействия здесь нецелесообразно.

Таким образом, можно сделать вывод, что механическое, акустическое, электрическое, магнитное, тепловое и радиационное воздействия

существенным образом влияют на процессы в обрабатываемой среде, инициируя различные эффекты и изменяя свойства фаз и содержащихся в них включений. Перечисленные воздействия принято называть энергетическими, так как их реализация приводит к изменению энергетического состояния обрабатываемой среды. Воздействуя на обрабатываемую среду за счет одного вида воздействий, возможна трансформация его в другой вид воздействия как полностью, так и частично. Все виды воздействий взаимосвязаны друг с другом, и реализовать какой-то вид воздействия в чистом виде практически невозможно.

1.2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Анализ физических воздействий, проявляющихся в результате эффектов и результатов, позволил выявить следующие общие закономерности:

1. При одном воздействии на систему может проявляться несколько результатов воздействия. Их число зависит от структуры системы. Чем сложнее по своей структуре система, тем большее число результатов воздействия в ней проявляется. Необходимые результаты можно получать путем изменения числа и состава структурных элементов системы (при заданном воздействии), а также путем изменения вида воздействия и комбинации между собой их видов. Поскольку от одного воздействия могут проявляться эффекты на разных иерархических уровнях системы, то возникают внутренние воздействия. При этом результаты внешнего воздействия, как правило, коррелируют с внутренними воздействиями.

2. Воздействия подразделяют на основные и дополнительные. Основным воздействием на систему является такое целевое воздействие, результат которого вызывает главный и необходимый эффект. Дополнительное воздействие приводит к количественному изменению результата, получаемого от основного воздействия.

3. В одной системе могут проявляться несколько эффектов. Если какое-либо воздействие приводит к новому результату, то в системе проявляются два или более различных эффекта. Любые два или более эффектов, проявляющиеся в одной системе, оказывают влияние друг на друга.

4. Результат воздействия регулируется и обуславливается следующими факторами: количественными изменениями воздействия; введением дополнительных воздействий; введением еще одного основного воздействия; изменением структуры системы; изменением параметров системы.

5. При постоянстве условий воздействий и свойств системы проявляются одни и те же результаты воздействия, одни и те же значения их параметров. Каждое воздействие (основное и дополнительное) необходимо выдерживать в определенных параметрах наиболее благоприятных для интенсификации ТП и повышения его энергетической эффективности. Оптимизацию проводят как для количественных параметров воздействий, так и по видам воздействий на систему. В процессе воздействия возможны изменения параметров, и поэтому кроме оптимизации необходимо предусмотреть управление параметрами воздействий: какое из воздействий выбрать за основное, какое за дополнительное, как выбрать их параметры, и как избежать возникновения ненужного воздействия. Потоки и объем обрабатываемой среды ограничены и направляются конструктивными элементами аппарата для того, чтобы интенсификация ТП за счет каких-либо воздействий на систему была максимальной. ТП характеризуется определенными режимно-технологическими параметрами, которые необходимо оптимизировать и постоянно поддерживать на оптимальных значениях за счет управляющих элементов.

Воздействия, наложенные на обрабатываемую среду, вызывают в ней различные эффекты, которые изменяют характеристики системы, ее энергетическое состояние. Наиболее эффективным будет воздействие, сконцентрированное в неустойчивых точках структуры вещества. Часто ими являются межфазные поверхности, дефекты структуры, дислокации,

внутренние неоднородности (концентрация энергетического воздействия в пространстве). Таковы, например, центры зародыши турбулентных вихрей и фазовых превращений (конденсации, кипения, кристаллизации, плавления и пр.). Воздействие должно быть сконцентрированным, отдавать большое количество энергии за малый временной интервал (концентрация энергетического воздействия во времени).

Пространственная и временная концентрация позволяет получить большую мощность энергетического воздействия, совершить энергетическую накачку (особенно в режиме резонанса), высвободить внутреннюю энергию вещества, инициировать многочисленные квантовые, каталитические, цепные, самопроизвольные, лавинообразные и другие энергонасыщенные процессы [10, 17, 18, 19, 20, 6 – 16, 20 – 22, 23, 24].

Качественные и количественные характеристики эффекта зависят от вида воздействия, комбинации воздействий, их параметров. Если вид основного воздействия, его комбинация с дополнительным воздействием были выбраны правильно, то происходит интенсификация ТП. Степень интенсификации ТП зависит от количественных параметров каждого вида воздействий.

Получаемые эффекты, в свою очередь, трансформируют один вид воздействия в другой, который также действует на систему. В качестве примера можно привести акустическое воздействие, которое вызывает в жидкости кавитацию. Кавитационные пузырьки при схлопывании выбрасывают кумулятивные струйки, производя механическое воздействие на компоненты гетерогенной жидкости. Практически всегда, при любом виде воздействия на систему происходит выделение тепла, т.е. осуществляется тепловое воздействие. Непосредственное управление физико-химическими эффектами часто невозможно. Обычно возможно только опосредованное управление через конструктивные и режимные параметры технологической системы и входные воздействия.

Входные воздействия (основные и дополнительные), конструктивные и режимные параметры технологической системы, эффекты и их **вторичные** воздействия суммируются. Результаты воздействий также классифицируют на основные и дополнительные. Основные – это те результаты, которые планировалось получить в результате целенаправленного воздействия. Дополнительные – это результаты, которые сопутствуют основным и могут быть как полезными, так и нейтральными и даже вредными. Типичным примером является тепловыделение, которое происходит в результате многих воздействий и может быть использовано как дополнительное или вторичное воздействие.

Совокупность основных, дополнительных и вторичных воздействий составляет систему энергетических воздействий на обрабатываемую среду. Правильный выбор, оптимизация и управление энергетическими воздействиями на обрабатываемую среду определяют степень интенсификации технологического процесса. Главным объектом анализа при поиске интенсифицирующих воздействий является не сам технологический процесс, а его механизм. Чем более подробно общий механизм процесса будет расчленен на частные явления и детали, тем более точно может быть установлено лимитирующее звено механизма и более эффективно выбрано соответствующее этому звену интенсифицирующее воздействие.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АПК

Несмотря на огромное многообразие технологических процессов в АПК, все они, в зависимости от законов, определяющих скорость их протекания, могут быть объединены в следующие группы:

1. *Гидромеханические процессы*, скорость которых определяется законами гидромеханики. К этим процессам относятся транспортирование

жидкостей и газов, получение и разделение жидких и газовых неоднородных систем и др.

2. *Тепловые процессы*, скорость которых определяется законами переноса теплоты. К этим процессам относятся нагревание и охлаждение жидкостей и газов, конденсация паров, кипение жидкостей. Обычно на скорость тепловых процессов большое влияние оказывают гидродинамические условия в теплообменных аппаратах.

3. *Массообменные процессы*, скорость которых определяется законами переноса массы из одной фазы в другую через поверхность раздела фаз. К этим процессам относятся, например, абсорбция, адсорбция, экстракция, перегонка жидкостей, сушка. Обычно на скорость переноса массы существенно влияют гидродинамические условия в массообменных аппаратах, а также скорость подвода к взаимодействующим фазам (или отвода от них) теплоты.

4. *Химические процессы*, скорость которых определяется законами химической кинетики. Часто скорость химических процессов существенно зависит от скорости переноса массы и теплоты в системе, а следовательно, и от гидродинамических условий в аппарате (реакторе).

5. *Механические процессы*, которые описываются законами механики твердых тел. К ним относятся измельчение, сортировка (классификация), пресование и смешение твердых материалов.

Перечисленные процессы составляют основу большинства производств и поэтому называются основными (или типовыми) процессами АПК.

Общим для первых четырех групп процессов является то, что их протекание связано с переносом субстанций - количества движения (импульса), энергии или массы.

Т а б л и ц а 1.2. Классификация технологических процессов по типу переноса и движущей силе

Тип переноса	Движущая сила	Процессы	Технологические операции
Перенос количества движения	Механическая сила, давление	Механические, гидромеханические	Дробление, резание, сортирование, прессование, отстаивание, фильтрование.
Перенос теплоты	Разность температур	Тепловые	Нагревание, охлаждение, выпаривание, конденсация.
Перенос массы	Разность концентраций	Массообменные	Сушка, экстракция, абсорбция, кристаллизация, растворение, перегонка.

1.4. СТАЦИОНАРНЫЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ АПК

Энергоэффективность процесса в значительной степени зависит от способов его организации. В зависимости от того, изменяются или не изменяются во времени параметры процессов (скорости движения потока, температуры, давления и т. д.), их подразделяют на:

- стационарные (установившиеся),
- нестационарные (неустановившиеся).

Если обозначить совокупность параметров, влияющих на процесс, U , то при стационарном процессе: