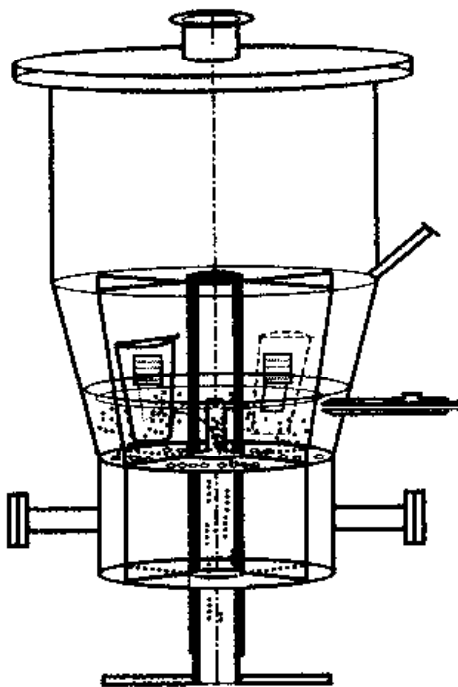


Л.Н. Овчинников

# ГРАНУЛЯЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ВО ВЗВЕШЕННОМ СЛОЕ



Иваново  
2010

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**Л.Н.Овчинников**

**ГРАНУЛЯЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ  
ВО ВЗВЕШЕННОМ СЛОЕ**

**Иваново 2010**

УДК 66.047

Овчинников Л.Н. Грануляция минеральных удобрений во взвешенном слое: монография / ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2010. 168 с. ISBN 978-5-9616-0349-1

В монографии рассмотрены теоретические основы и практика процессов гранулообразования минеральных удобрений в грануляторах-сушилках со взвешенным слоем. Приведены основные технологические схемы получения азотно-фосфорно-калийных удобрений с применением техники псевдооживления; классификация и устройство грануляторов со взвешенным слоем для грануляции из растворов и расплавов; закономерности гидродинамики различных видов взвешенного слоя; закономерности формирования гранулометрического и химического состава минеральных удобрений; методика расчёта технологических схем для получения простых и сложных минеральных удобрений в кипящем слое; методика расчёта тепло- и массообменных процессов при проведении грануляции и сушки минеральных удобрений в аппаратах КС.

Монография рассчитана на студентов, аспирантов и научных сотрудников химико-технологических университетов, а также инженерно-технических работников химической промышленности, интересующихся вопросами гранулообразования технологических продуктов в аппаратах со взвешенным слоем.

Печатается по решению редакционно – издательского совета Ивановского государственного химико – технологического университета.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор В.П. Жуков (Ивановский государственный энергетический университет); доктор технических наук, профессор Н.Н. Елин (Ивановский государственный архитектурно-строительный университет)

ISBN  
978-5-9616-0349-1

© Овчинников Л.Н., 2010  
© ГОУВПО Ивановский государственный  
химико-технологический университет, 2010

## Оглавление

<b>Введение</b>	5
<b>Глава 1. Минеральные удобрения</b>	7
1.1. Назначение производства минеральных удобрений и их агрохимическая эффективность	7
<b>Глава 2. Технологические схемы производства минеральных удобрений</b>	10
2.1. Азотные удобрения	10
2.1.1. Аммиачная селитра	10
2.1.2. Сульфат аммония	13
2.1.3. Карбамид (мочевина)	16
2.2. Калийные удобрения	18
2.3. Фосфорные удобрения	21
2.3.1. Суперфосфат	22
2.3.2. Нитрофоска	23
2.3.3. Аммофос	25
2.4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	30
<b>Глава 3. Грануляторы со взвешенным слоем для грануляции минеральных удобрений</b>	32
3.1. Классификация грануляторов со взвешенным слоем	32
3.1.1. По форме и конфигурации	34
3.1.2. По количеству секций	35
3.2. Основные узлы грануляторов со взвешенным слоем	54
3.2.1. Распыливающие устройства	54
3.2.2. Газораспределительные устройства	57
3.2.3. Выгрузные устройства	58
3.3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	59
<b>Глава 4. Основные закономерности гидродинамики взвешенного слоя</b>	61
4.1. неподвижный слой	61
4.1.1. Структура неподвижного слоя твёрдых частиц	61
4.1.2. Гидравлическое сопротивление неподвижного слоя	65
4.2. Псевдоожиженный слой	66
4.2.1. Общие понятия	66
4.2.2. Механизм псевдоожижения	67
4.2.3. Перепад давления в псевдоожиженном слое	71
4.2.4. Скорость начала псевдоожижения	73
4.2.5. Скорость витания (уноса)	74
4.2.6. Высота псевдоожиженного слоя	75
4.2.7. Гидравлическое сопротивление установки с кипящим слоем	75
4.3. Пневматический транспорт	77
4.3.1. Общие понятия	77
4.3.2. Основные характеристики пневматического транспорта	77
4.4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	88
<b>Глава 5. Закономерности формирования гранулометрического состава при грануляции технологических продуктов во взвешенном слое</b>	90
5.1. Современные представления о кинетике гранулообразования технологических продуктов	90

5.2. Кинетика гранулообразования при "нормальном" росте частиц	103
5.2.1. Изменение эквивалентного размера частиц в периодическом процессе грануляции	104
5.2.2. Изменение эквивалентного размера частиц в переходном режиме стационарного процесса	107
5.2.3. Расчет гранулометрического состава получаемого продукта и продукта, находящегося в слое	114
5.3. Закономерности вторичных явлений при грануляции в аппаратах с псевдооживленным слоем	119
5.3.1. Кинетика агломерации минеральных удобрений	119
5.4 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	127
<b>Глава 6. Технологические схемы получения минеральных удобрений с применением грануляторов КС, разработанные кафедрой ПАХТ (ИГХТУ)</b>	133
6.1. Классификация технологических схем получения минеральных удобрений	134
6.1.1. Технологические схемы грануляции удобрений в кипящем слое	134
6.1.1.1. Схемы грануляции NP-удобрений	134
6.1.1.2. Схемы грануляции тройных NPK-удобрений	137
6.1.1.3 Схемы грануляции сульфата аммония	139
6.2. Теоретические основы расчёта технологических схем получения минеральных удобрений с применением техники взвешенного слоя	141
6.2.1. Расчет расходов сырья	142
6.2.1.1. Расчёт расходов сырья для получения НК- удобрений	144
6.2.1.2. Расчет расходов сырья для получения NPK и NP -удобрений	148
6.2.2. Определение температурных режимов процесса грануляции минеральных удобрений и расчет энергозатрат	153
6.2.3. Расчет тепло-массообмена при грануляции минеральных удобрений	155
6.3.3.1. Общие положения	155
6.3.3.2. Тепло-и массообмен во взвешенном слое	156
6.3.3.3. Методика расчёта сушки влажных материалов во взвешенном слое	161
6.4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	166

## Введение

Грануляция - это технологический процесс превращения материала в более или менее однородные по размеру гранулы. Большинство веществ в гранулированном виде обладают лучшими физико-химическими показателями, такими как прочность, сыпучесть, слёживаемость и т.д. Их лучше транспортировать и применять в различных технологических процессах. Они не пылят, в результате чего улучшаются условия труда в сфере их производства и применения, а также снижаются потери при транспортировании и хранении. Хорошая подвижность гранулированного продукта облегчает его пневмотранспорт, дозирование и упаковку, автоматизацию и механизацию производственных процессов и погрузочно-разгрузочных работ. В связи с этим, процессы грануляции находят всё большее применение как у нас в России, так и за рубежом.

Процессы грануляции разнообразны как по методам их осуществления, так и по аппаратному оформлению. Одним из перспективных способов является получение гранулированного продукта в аппаратах с кипящим слоем (КС). Сущность этого способа заключается в распыливании гранулируемого вещества, содержащегося в растворе, пульпе или плаве, на псевдооживленные частицы кипящего слоя. Раствор, пульпа или плав впрыскивается внутрь кипящего слоя или распределяется над его поверхностью с предварительной упаркой в факеле распыливания или без неё. В некоторых случаях, например, при грануляции минеральных удобрений одновременно с упариванием раствора протекают реакции нейтрализации, сопровождающиеся процессами кристаллизации и сушки. Это даёт возможность совмещать ряд стадий процесса (нейтрализацию, упаривание, кристаллизацию, сушку и грануляцию) в одном аппарате, что определяет существенный технико-экономический эффект. При этом удастся максимально использовать тепло химической реакции, что ещё более обуславливает экономическую целесообразность способа.

К настоящему времени научными школами МГУИЭ (МИХМ); РХТУ (МХТИ); НИУИФ; ГИАП г.Москва; СПГТИ(ТУ) (ЛТИ им.Ленсовета)

г.Санкт-Петербург; ИГХТУ г. Иваново и др., а также зарубежными исследователями накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал, касающийся изучения основных закономерностей гидродинамики, процессов тепло-массообмена и грануляции различных технологических продуктов во взвешенном слое.

Следует отметить, что грануляция во взвешенном слое ( особенно при получении многокомпонентных минеральных удобрений) является сложным физико-химическим процессом, интенсивность протекания которого зависит от многих факторов. К этим факторам, в первую очередь, следует отнести закономерности гидродинамики взвешенного слоя, кинетику гранулообразования, регулирование химического состава готового продукта, а также интенсивность протекания тепло-массообменных процессов.

В связи с этим, в монографии рассматриваются технологические схемы получения минеральных удобрений, в которых используются или могут быть использованы различные аппараты со взвешенным слоем для грануляции, охлаждения или снижения слёживаемости гранул готового продукта. Приводятся основные теоретические положения, связанные с расчётом и проектированием грануляторов КС, а также их конструктивные особенности.

Кроме того, в конце каждой главы книги даны условные обозначения и литература, к которой можно обратиться для более глубокого изучения излагаемого материала.

## Глава 1. Минеральные удобрения

### 1.1. Назначение производства минеральных удобрений и их агрохимическая эффективность

Рост и развитие растений требуют целый ряд различных питательных элементов в усвояемой форме. Жизненно важными элементами для растений являются азот, фосфор, калий и некоторые микроэлементы, вносимые в почву в небольших дозах (бор, медь, молибден, марганец, цинк и др.).

Минеральные соли, содержащие азот, фосфор и калий, находятся в почве в неусвояемых для растений формах, поэтому такие соли вносятся в почву в виде азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Азот (N) - составная часть органических соединений, образующих основу всего живого – белки, а также неперенная часть хлорофилла, при помощи которого растения поглощают энергию солнечных лучей, превращая ее в химическую энергию.

Фосфор (P) – усваивается растениями и перерабатывается в фосфорсодержащие белковые соединения; он способствует повышению морозостойкости растений и улучшению качества урожая.

Калий (K) – принимает участие в процессах образования углеводов (сахаров и крахмалов).

Так как с урожаем удаляются поглощаемые растениями из почвы питательные элементы, то содержание некоторых из них в почве может оказаться недостаточным для получения высоких урожаев. В первую очередь, это относится к азоту, фосфору и калию. Следовательно, для повышения урожайности необходимо пополнять запас питательных элементов внесением в почву удобрений.

Удобрения разделяются на прямые (для питания растений) и косвенные (для изменения реакции почвы (pH) и ее структуры). Прямые удобрения делятся на органические (навоз, торф, компосты), минеральные, или туки (азотные, фосфорные, калийные и микроудобрения, содержащие микроэлементы), и бактериальные удобрения (препараты полезных бактерий).



Косвенные удобрения применяют для устранения кислотности путём внесения в почву тонкоразмолотого известняка, мела или доломита.

В органических удобрениях питательные элементы входят преимущественно в состав органических веществ; все они комплексные удобрения. Важнейшие из них - навоз и торф.

При внесении в почву полного удобрения урожай сельскохозяйственных культур повышается в 1,5- 2 раза. Применение удобрений не только увеличивает урожай, но и повышает качество продуктов: возрастает содержание в зерне белка и клейковины, увеличивается содержание сахара в свёкле, крахмала в картофеле и т. д. Кроме того, возрастает выносливость растений к неблагоприятным условиям погоды (засуха, заморозки) .

В настоящее время практически все удобрения изготавливают в гранулированном виде. Гранулы (шарики размером от 2 до 10 мм) обладают механической прочностью , при транспортировке удобрений не разрушаются, не слеживаются, их можно высевать из обычных сеялок.

Минеральные удобрения по химическому составу подразделяются на простые и комплексные. Простыми, или односторонними, являются удобрения, содержащие какой-либо один питательный для растений элемент (вещество). К ним относятся азотные удобрения (аммиачная селитра, сульфат аммония, карбамид и др.), фосфорные удобрения (простой и двойной суперфосфат, фосфоритная мука и т. д.) и калийные удобрения (хлористый калий, сульфат калия, каинит и др.).

Комплексными, или многосторонними, называются удобрения, содержащие не менее двух питательных веществ. В зависимости от способа изготовления комплексные удобрения подразделяются на сложные и смешанные, их выпускают в твердом и жидком виде.

Основной отличительной особенностью сложных удобрений является наличие в каждой грануле нескольких питательных элементов; такие удобрения получают в едином технологическом процессе.

Отличительным признаком смешанных удобрений является то, что фосфор, азот и калий входят в их состав в виде готовых односторонних удобрений. Смешанные удобрения, в свою очередь, подразделяются на три типа:

- 1) порошкообразные смешанные удобрения, или тукосмеси, получаемые механическим смешением простых (одинарных) порошкообразных удобрений;
- 2) сухие, гранулированные тукосмеси, получаемые механическим смешением готовых гранулированных удобрений;
- 3) сложносмешанные (или химически смешанные) гранулированные удобрения, получаемые так называемым мокрым способом — смешением порошкообразных удобрений с введением в процесс необходимых жидких реагентов, например, аммиаков, различных кислот и других веществ. В процессе получения таких удобрений могут быть использованы пар, вода, а также газообразный аммиак.

Промышленность выпускает большое количество различных сортов (или марок) комплексных удобрений, отличающихся содержанием и соотношением питательных элементов. Для сокращенного обозначения состава удобрений, принято указывать содержание в них питательных веществ цифрами, отделенными друг от друга знаками тире (или плюсами). При этом первая цифра обозначает процентное содержание азота (N), вторая - фосфорного ангидрида ( $P_2O_5$ ), третья - окиси калия ( $K_2O$ ). В случае отсутствия в комплексном удобрении одного из питательных веществ оно обозначается нулем. Например, если в комплексном удобрении содержится 10% N, 15%  $P_2O_5$  и 10%  $K_2O$ , его сокращенно можно обозначить 10-15-10; если же удобрение содержит только 10% N и 15%  $P_2O_5$ , его сокращенно обозначают 10-15-0.