



$$V_F = \frac{A \cdot \Delta p}{\eta_L \cdot (R_M + r_C \cdot h_C)}$$

*A* = фильтрующая поверхность

*Δp* = градиент давления

*η<sub>L</sub>* = вязкость

*r<sub>C</sub>* = специфическая прочность осадка

*R<sub>M</sub>* = сопротивление фильтрующей среды

*h<sub>C</sub>* = толщина осадка

Уравнение Дарси описывает ламинарный поток фильтрата через несжимаемый осадок

При использовании фильтрующих центрифуг часто слишком малое внимание уделяется влиянию толщины осадка на производительность центрифуги.

## ЧЕРЕЗ ТОЛСТЫЙ И ТОНКИЙ СЛОЙ ОСАДКА

### ■ Мурат Ёцтас (Murat Öztas), Heinkel Process Technology

**Влияние толщины осадка на производительность промышленных центрифуг.** Многие центрифуги работают нерентабельно, так как организации, их эксплуатирующие, не учитывают в достаточной степени все рабочие параметры. Часто недооценивается такой фактор, как толщина осадка, о которой можно сказать: больше - не всегда лучше. Благодаря оптимальной толщине осадка можно в значительной степени улучшить пропускную способность фильтрующей центрифуги.

**Ф**ильтрующие центрифуги периодического действия используются в химической и фармацевтической промышленности для выделения твердых веществ из суспензий. Отличительной чертой фильтрующих центрифуг является образование осадка во время заполнения центрифуги, который затем можно промывать и отжимать сколь угодно долго и часто. Типичными фильтрующими центрифугами периодического действия являются, например, центрифуги с верхней выгрузкой, вертикальные или горизонтальные центрифуги с верхней выгрузкой через отводящие трубки и центрифуги с обратным фильтром.

При использовании таких центрифуг необходимо часто решать вопрос, какую пропускную способность имеют эти центрифуги или как можно оптимизировать производительность имеющейся центрифуги. На производительность, то есть на пропускную способность, остаточную влажность и результат промывки, в значительной степени влияют не только свойства продукта, например, размер и форма частиц, концентрация твердого вещества, плотность твердого вещества и т. д., но и правильный режим работы центрифуги. Параметр, который часто недооценивают, - толщина фильтрационного осадка. По этой

причине далее на основе технологии описывается влияние толщины фильтрационного осадка на выбор и производительность фильтрующих центрифуг.

**Максимальная частота вращения и фильтрующая поверхность определяют фильтрационный потенциал.**

При эксплуатации фильтрующих центрифуг периодического действия используется классический цикл, применяемый для периодических процессов: сначала заполняется барабан, и суспензия подается на фильтрующую среду, затем промывается и отжимается фильтрационный осадок.

Зависящий от времени процесс - это, как правило, центрифугирование, когда через осадок пропускается маточный или промывной щелок. Процесс промывания можно приблизительно пояснить при помощи уравнения Дарси (см. выше), которое описывает ламинарный поток фильтрата через несжимаемый осадок.

Градиент давления  $\Delta p$ , возникающий благодаря центробежной силе, обеспечивает фильтрацию. В результате перемножения градиента давления и фильтрующей поверхности  $A$  получается так называемая «эквивалентная фильтрующая поверхность». Она соответствует «фильтрационному потенциалу» центрифуги. При этом частота вращения и фильтрующая поверхность центрифуги являются определяющими факторами. При эксплуатации можно изменять только частоту вращения. Вязкость маточной жидкости  $\eta_L$ , а также специфическая прочность осадка  $r_C$  описывают свойства продукта, на которые, как правило, нельзя повлиять. Специфическая прочность осадка  $r_C$  зависит от пористости, распределения частиц по размерам, формы и свойства поверхности частиц, а также от свойств граничащей поверхно-

сти. Оставшиеся переменные параметры процесса, ниже описываемые более подробно, сопротивление фильтрующей среды  $RM$  и, прежде всего, толщина фильтрационного осадка  $h_C$ .

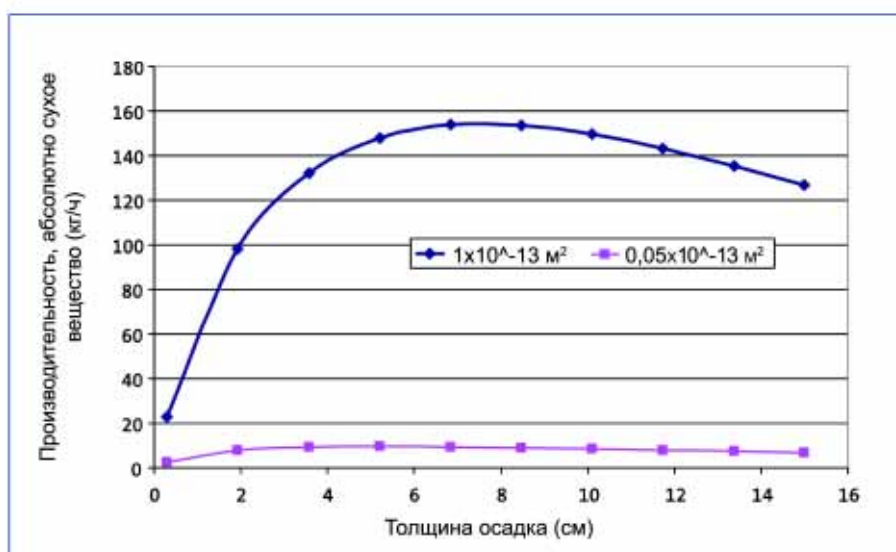
В большинстве случаев фильтрационная среда - это фильтровальная ткань, сотканная из искусственных волокон, например, полиамидных, полипропиленовых, полиэтиленовых или политетрафторэтиленовых волокон. Какой материал является подходящим с точки зрения химической стойкости и термостойкости, можно определить относительно легко при помощи соответствующих списков материалов с указанием их стойкости. Тип фильтровальной ткани решающим образом влияет на удерживающую способность и фильтрационное сопротивление. Как показывает практика, чаще всего используется ткань из моноволокна и комплексная ткань. Комплексная ткань производится из нескольких волокон, при изготовлении фильтровальной ткани из моноволокна, напротив, используется только одно волокно. Комплексная фильтровальная ткань часто применяется в том случае, если в центрифугах после выгрузки отсутствует основной слой твердого вещества

### ФАКТЫ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Для эксплуатирующей организации и проектировщика

- ♦ В фильтрующих центрифугах периодического действия образуются осадок.
- ♦ Толщина осадка является важнейшим параметром, который можно изменять для повышения пропускной способности центрифуги.
- ♦ При работе с легкофильтруемыми продуктами пропускная способность увеличивается с увеличением толщины осадка, при работе с труднофильтруемыми продуктами максимальная производительность достигается уже при небольшой толщине осадка.
- ♦ В обоих случаях остаточная влажность возрастает с увеличением толщины осадка. Кроме того, на остаточную влажность влияет продолжительность фильтрования.
- ♦ При работе с легкофильтруемыми продуктами толщина осадка может быть большой, для таких продуктов подходят центрифуги с верхней выгрузкой и центрифуги с верхней выгрузкой через отводящие трубки.
- ♦ При работе с труднофильтруемыми продуктами осадок не должен иметь большую толщину. Для фильтрования таких продуктов можно использовать горизонтальные центрифуги, например, центрифуги с верхней выгрузкой через отводящие трубки или центрифуги с обратным фильтром.

### Толщина осадка на основе производительности

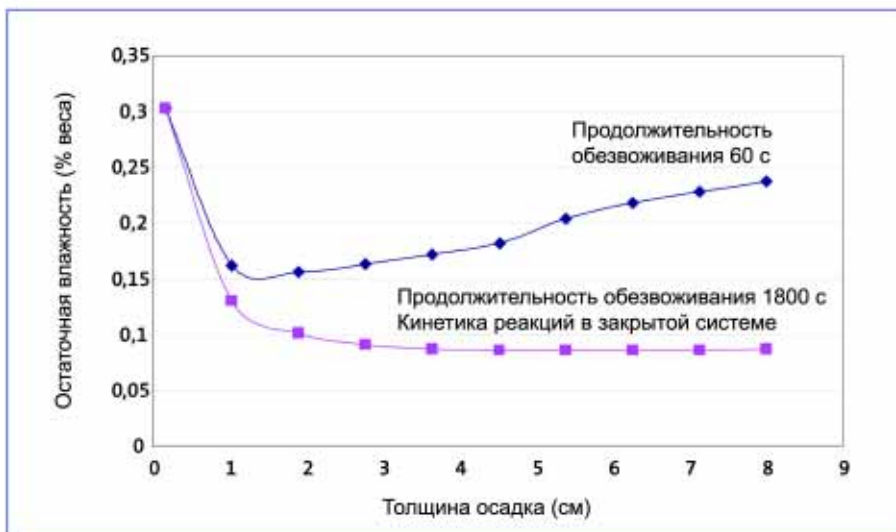


**При работе с легкофильтруемым продуктом (синяя линия) наилучшая пропускная способность достигается при относительно большой толщине осадка. При работе с труднофильтруемым продуктом (фиолетовая линия) оптимальный результат, напротив, достигается уже при небольшой толщине осадка**

(например, центрифуги с обратным фильтром, вертикальные центрифуги с верхней выгрузкой). Такая ткань отличается высокой удерживающей способностью, при ее использовании обеспечивается получение относительно хорошего фильтрата (отсутствие мутного фильтрата).

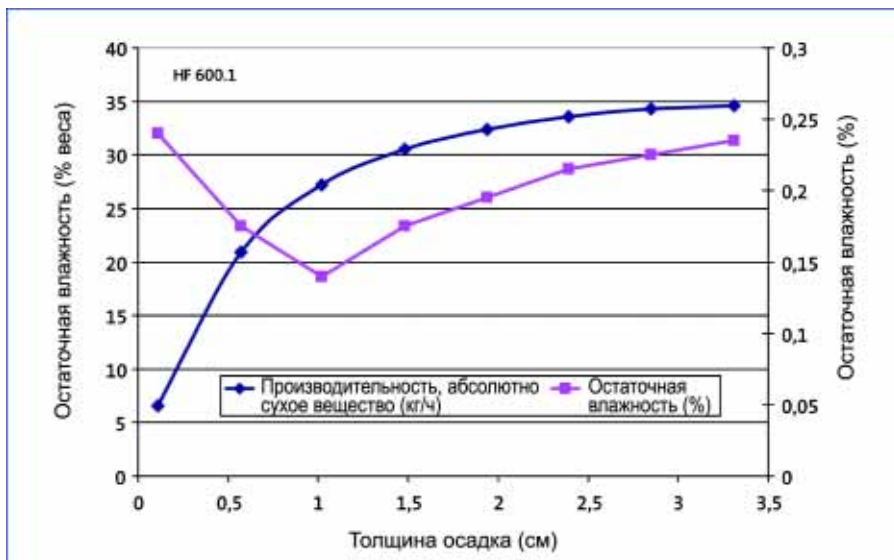
Для центрифуг с основным слоем твердого вещества (например, горизонтальные и вертикальные центрифуги с верхней выгрузкой через отводящие трубки) также может быть достаточно филь-

**Толщина осадка на основе остаточной влажности в зависимости от продолжительности обезвоживания**



При небольшой продолжительности фильтрования (60 с) остаточная влажность растет вместе с увеличением толщины осадка, при большой продолжительности обезвоживания (1800 с) остаточная влажность почти не изменяется

**Толщина осадка на основе остаточной влажности в зависимости от продолжительности обезвоживания**



В то время как с увеличением толщины осадка растет производительность, ухудшается показатель остаточной влажности

травальной ткани из моноволокна, так как основной слой выполняет функцию фильтрующей среды. Выбор типа ткани - это всегда достижение компромисса между удерживающей способностью ткани и пропускной способностью твердого вещества (сопротивление ткани RM). При этом действует следующий принцип: чем плотнее ткань, тем больше частиц она удерживает, но при этом замедля-

ется поток фильтрата, что влияет на пропускную способность центрифуги.

Толщина осадка  $h_c$  является важнейшим параметром, который можно изменять для оптимизации пропускной способности центрифуги и достижимой остаточной влажности. К сожалению, этой взаимосвязи часто не уделяется достаточное внимание при сопоставлении разных фильтрующих центрифуг.

Оптимальную толщину осадка для станков для серийного производства можно определить, например, путем проведения предварительных испытаний с использованием лабораторного нутч-фильтра или экспериментальной центрифуги. При этом, затрачивая относительно небольшое количество времени и небольшое количество продукта 0,5-5 кг, можно проводить испытания с различными осадками, чтобы определить основные технологические данные, например, продолжительность центрифугирования и остаточную влажность. Эти данные затем можно использовать для больших центрифуг.

Кроме того, лабораторный нутч-фильтр можно использовать для определения проницаемости продукта, чтобы затем с помощью программного обеспечения, моделирующего работу центрифуги (например, CentriStar, [www.fosfiltration.com](http://www.fosfiltration.com)) провести качественную оценку производительности, как показано на следующем примере.

**Толщина осадка - важнейший рабочий параметр**

Для определения влияния остаточной влажности и производительности на основе толщины фильтрационного осадка  $h_c$  для начала был исследован легкофильтруемый и труднофильтруемый продукт. При работе с легкофильтруемым продуктом наилучшая производительность достигается при сравнительно большой толщине осадка.

Причиной этого является лучшая проницаемость осадка. Если рассмотреть зависимость толщины осадка и остаточной влажности, можно увидеть, что продукт, который фильтруется легче, по причине своей лучшей проницаемости при любой толщине осадка имеет меньшую остаточную влажность. Чем тяжелее фильтруется продукт, тем меньше оптимальная толщина осадка для обеспечения оптимальной пропускной способности. Очевидно, многим эксплу-

атирующим организациям трудно осознать, что в этом случае при меньшей толщине осадка, то есть при «почти пустом» барабане центрифуги, можно достигнуть в целом большей производительности. Правда, такое преимущество предоставляет только центрифуга с обратным фильтром.

Также поразительным является то, что при увеличении толщины осадка повышается средняя остаточная влажность фильтрационного осадка.

При этом, однако, становится ясно, что важную роль играет кинетика обезвоживания, которую можно описать посредством коэффициента обезвоживания  $K_s$ . В центрифуге под действием силы инерции сначала опустошаются крупные поры фильтрационного осадка. Затем стекает жидкость, «приставшая» к твердым частицам. Этот второй этап обезвоживания зависит от времени и описывается при помощи коэффициента обезвоживания  $K_s$ . Данный коэффициент включает в себя такие параметры, как проницаемость, значение  $C$  и продолжительность фильтрации. При сопоставлении двух различных показателей продолжительности фильтрования видно, как продолжительность фильтрования влияет на остаточную влажность. При продолжительности фильтрования 60 с остаточная влажность заметно повышается с увеличением толщины осадка. При продолжительности фильтрования 1800 с остаточная влажность, несмотря на увеличение толщины осадка, остается примерно на одном уровне, то есть достигнуто равновесие. Однако на практике в про-

мышленности редко стремятся достигнуть такого равновесия, так как при этом в значительной степени уменьшается пропускная способность. Самый низкий показатель остаточной влажности достигается при небольшой толщине осадка, максимальная пропускная способность - при большой толщине осадка.

### Каждый продукт имеет оптимальную толщину осадка

На практике это означает, что крупнозернистые продукты с высокой проницаемостью и небольшой внутренней поверхностью осадка можно разделять на фазы наиболее экономичным способом при большой толщине осадка в объемных центрифугах. В противоположность этому мелкозернистые продукты с небольшой проницаемостью и большой внутренней поверхностью осадка разделяются на фазы при малой толщине осадка на центрифугах с большой площадью фильтрующей поверхности и с быстрой выгрузкой.

Это необходимо еще раз пояснить посредством двух примеров из практики производства. В первом примере речь идет о легкофильтруемом гипсе из установок для обессеривания дымовых газов, который, как правило, обрабатывается на вертикальных центрифугах с верхней выгрузкой через отводящие трубки. Общая продолжительность цикла составляет 15-20 минут, оптимальная высота осадка - 260 мм при остаточной влажности ок. 10 процентов. Взвесь сульфата калия, которая очень тяжело фильтруется, на-

против, требует небольшой толщины осадка. Оптимальная толщина осадка составляет всего 15-20 мм при продолжительности цикла около 15 минут и остаточной влажности примерно 18 процентов. По причине небольшой продолжительности цикла следует использовать центрифугу с быстрой выгрузкой, поэтому здесь подходит центрифуга с обратным фильтром.

### Вывод

При выборе подходящего типа центрифуги необходимо руководствоваться следующим принципом: при работе с легкофильтруемыми продуктами толщина осадка может быть большой, по причине чего требуется барабан большого объема. Для этого подходят вертикальные центрифуги с верхней выгрузкой и центрифуги с верхней выгрузкой через отводящие трубки. При работе с труднофильтруемыми продуктами, напротив, рекомендуется скорее небольшая толщина осадка, поэтому следует использовать горизонтальные центрифуги, например, центрифуги с верхней выгрузкой через отводящие трубки или еще лучше центрифуги с обратным фильтром. Независимо от выбора центрифуги действует следующее правило: для каждого продукта существует оптимальная толщина осадка. Толщина осадка - это главный параметр при оптимизации производительности фильтрующей центрифуги. На практике в промышленности этому не всегда уделяется достаточное внимание.

**HEINKEL Process Technology GmbH**  
Ferdinand-Porsche-Str. 8  
D-74354 Besigheim  
Phone: +49 7143 9692-0  
Fax: +49 7143 9692-259  
E-mail: [Info@heinkel.de](mailto:Info@heinkel.de)  
Internet: [www.heinkel.de](http://www.heinkel.de)

**HEINKEL Process Technology GmbH**  
Фердинанд Порше 8  
D-74354 Безигхайм  
Телефон: +49 7143 9692-0  
Факс: +49 7143 9692-259  
Эл. почта: [info@heinkel.de](mailto:info@heinkel.de)  
Интернет: [www.heinkel.de](http://www.heinkel.de)  
Германия

