

# **GOUDSMIT**

## **MAGNETICS**

**Значение измерения плотности магнитного потока  
для магнитных сепараторов**

# Вступление



Главное здание компании Goudsmit Magnetica в Ваолре

Martijn Leskens, магистр наук

Магнитные  
системы Goudsmit  
Petunialaan  
195582 HA, Waalre, The Netherlands [www.goudsmitmagnet.com](http://www.goudsmitmagnet.com)  
[ML@goudsmit.eu](mailto:ML@goudsmit.eu)

Мы часто определяем степень работы системы магнитного разделения с помощью измерений магнитного поля. В этом случае мы измеряем плотность *магнитного потока* в одном или нескольких местах сепаратора.

Мы регулярно используем эти измерения (осознанно или неосознанно) в качестве единственной меры для разделительной способности магнитных сепараторов. В конкретных ситуациях эти измерения могут обеспечить достаточную картину, такую как определение снижения магнитной силы и, следовательно, мощности разделения конкретного сепаратора с течением времени. Или для сравнения производительности двух или более сепараторов одного типа, используемых в одних и тех же технологических условиях.

Однако, в целом, это не так, и мы должны включать больше аспектов, чем просто измерения плотности потока при определении мощности разделения магнитного сепаратора. Это объясняется в этом документе.

## Содержание



Плотномер магнитного потока (верхний левый) и его применение в системе магнитного разделения (нижний правый)

**Измерение плотности потока и их интерпретация**

**Одной только плотности магнитного потока недостаточно — индекса силы**

**Влияние условий потока**

**Свойства частиц также играют роль**

**Каково значение измерения плотности магнитного потока при оценке магнитных сепараторов?**

## Измерение плотности потока и их интерпретация



Магнитная система разделения

EHEDG — это консорциум производителей оборудования, представителей пищевой промышленности, научно-исследовательских институтов и органов общественного здравоохранения, основанный в 1989 году с главной целью — содействовать соблюдению гигиенических норм при переработке и упаковке пищевых продуктов и химикатов.



Чтобы определить, насколько хорошо работает магнитный сепаратор, мы часто измеряем плотность магнитного потока в непосредственной близости от магнита и/или на некотором расстоянии от него. Блоком, в котором мы измеряем плотность потока, является Tesla (T), который является официальным (SI) блоком, или часто Gauss (G) (1T = 10000G); неофициальным и несколько устаревшим блоком.

Наиболее распространенным измерением является непосредственное расположение магнита. Поскольку плотность магнитного потока варьируется в зависимости от площади, мы ищем максимальную плотность магнитного потока там. Измерение часто выполняется не на самом магните, а на пластине из нержавеющей стали или трубе вокруг магнита, которая применяется для увеличения срока службы магнита и соблюдения гигиенических требований\*. При этом мы должны знать, что плотность магнитного потока может быть уже значительно снижена по сравнению со значением на самом магните. Это связано с тем, что плотность магнитного потока, близкая к магниту, быстро уменьшается в размере с увеличением расстояния до магнита. Это снижение может быть значительным даже на несколько миллиметров. Это также означает, что измерения никогда точно не указывают плотность потока на магните или на листе или трубке из нержавеющей стали вокруг него, а на более низкое значение. Измерительный прибор (см. рисунок на стр. 3) имеет определенную толщину и, следовательно, измеряется на некотором расстоянии от поверхности.

Плотность магнитного потока в непосредственной близости от магнита является одним из определяющих факторов силы воздействия на присутствующие здесь частицы. Это делает его определяющим фактором для способности системы сепарации захватывать частицы вблизи магнита и удерживать их там (до тех пор, пока они не будут удалены посредством этапа очистки).

Магнитные сепараторы часто состоят из одной или нескольких труб из нержавеющей стали, которые помещаются в поток продукта. Эти трубки содержат магниты и стальные пластины, в которых магнетизм концентрируется и направляется наружу в потоке продукта. В непосредственной близости от этих пластин плотность потока является наибольшей. Таким образом, для таких систем сепарации на основе магнитных стержней мы часто ищем максимальное значение (на трубе) непосредственно над этими полюсными пластинами при измерении «прямо на магните».

## Измерение плотности потока и их интерпретация (продолжение)

Еще одним общим измерением при определении характеристик магнитного сепаратора является измерение плотности магнитного потока на определенном расстоянии от магнита. Мы используем это измерение в качестве измерения глубины удерживающего поля. Для этой цели часто выбирается ориентировочное значение, составляющее несколько сотен Гаусс, и определяется расстояние до магнита, на котором измеряется это значение. Goudsmit использует, например, целевое значение 3mT (300G). Это значение было выбрано на основе экспериментов, в которых частицы выше магнита прутка высвобождаются, и на котором оно определяется на каком расстоянии этот магнит все еще притягивает частицы.

Плотность магнитного потока на определенном расстоянии от магнита действительно является одним из определяющих факторов силы воздействия на присутствующие здесь частицы. Это делает его определяющим фактором для способности разделительной системы притягивать частицы на этом расстоянии и притягивать их к магниту.

Измерения плотности потока в магнитных сепараторах могут выполняться относительно легко (возможно, с помощью фитингов). Таким образом, эти измерения пользуются популярностью, наряду с широкой доступностью измерителей плотности потока. Однако, несмотря на то, что плотность магнитного потока определяет сепараторную способность, они *не являются единственными* факторами.

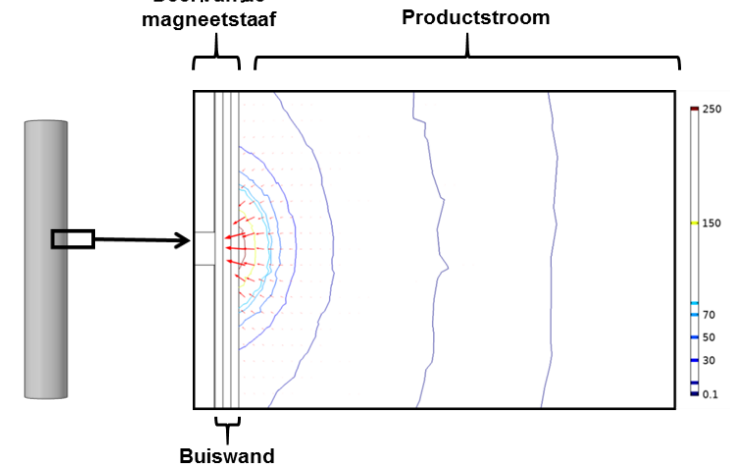
Это позволяет использовать эти измерения только для определения или сравнения рабочих характеристик одного или нескольких магнитных сепараторов только в ограниченной степени, например, при определении снижения магнитной силы конкретного сепаратора с течением времени (например, при высоких температурах) или при сравнении рабочих характеристик двух или более сепараторов одного типа, которые используются в одних и тех же технологических условиях.

В остальной части этого документа мы обсудим, какие другие факторы нам необходимы для получения полной картины сепарационной способности магнитного фильтра.

## Одной только плотности магнитного потока недостаточно — индекса силы

Магнитное усилие на частицу, которая должна быть захвачена, не только зависит от размера плотности потока, но и от *степени изменения* этого размера в пространстве. Мы также называем эту степень изменения градиентом. Для большей точности: если плотность магнитного потока внутри и вокруг частицы, подлежащей захвату, низкая, магнит все равно может правильно захватывать эту частицу, если градиент плотности магнитного потока достаточно высок. Компания Goudsmit использует этот принцип в магнитных сепараторах с высоким градиентом (HGMS).

Более конкретно: усилие на частицу, которая должна быть захвачена, зависит от плотности и градиента умножающегося потока. Этот продукт называется *индексом плотности* силы воздействия ( $T^2/m$ ). Значения индекса силы на стенке магнитной полосы вокруг стальной пластины столба показаны на рисунке ниже:



Коэффициент силы/плотности ( $T^2/m$ ) рядом с магнитной полосой вблизи пластины опоры.

Индекс силы воздействия имеет как направление, так и размер; это показано на рисунке по направлению или длине красных стрелок. Они указывают направление и размер усилия, которое работает на частицах. На рисунке также показаны контуры с постоянным размером индекса усилия.

## Одной только плотности магнитного потока недостаточно — индекс силы воздействия (продолжение)

Как видно на предыдущем рисунке, индекс силы увеличивается по мере уменьшения расстояния до опорной пластины. Как видно из направления и размера стрелок, частицы вытягиваются в направлении пластины опоры. Это также объясняет, почему на практике происходит наибольшее осаждение захваченных частиц, как видно на рисунке ниже.



*Магнитные стержни, используемые в системах магнитного разделения. Захваченные частицы собираются на стержне рядом с пластинами опоры, потому что индекс силы там самый высокий.*

Отложения на трубе происходят приблизительно на толщине стальных пластин столба. Поэтому кажется логичным выбрать эту толщину как можно больше. Однако значения индекса силы на трубе для пластин стойки также уменьшаются с увеличением толщины. Таким образом, выбор определенной толщины для этих изображений представляет собой баланс между, с одной стороны, большей удерживающей силой частиц (желательно тонкая пластина столба) и, с другой стороны, емкостью сепаратора, т. е. пространством на стержне для удержания частиц (желательно толстоплюсной пластины).

Мы рассчитали значения индекса силы на рисунке на предыдущей странице с использованием так называемого метода конечных элементов. Компания Goudsmit часто использует это при оценке магнитных сепараторов в дополнение к их тестированию.

## Влияние условий потока

Также хорошо понимать, что условия потока (скорость продукта, вязкость, ...) в системе сепарации оказывают по меньшей мере такое же влияние на степень сепарации, как и прочность и глубина магнитного удерживающего поля. Например, более высокая скорость вызовет более низкую разделительную способность, поскольку магнитам предоставляется меньше времени для притягивания частиц. Выбор более сильных магнитов в системе сепарации приведет к увеличению мощности сепарации, но этот положительный эффект не может быть гарантирован, если скорость потока продукта в системе увеличивается одновременно.

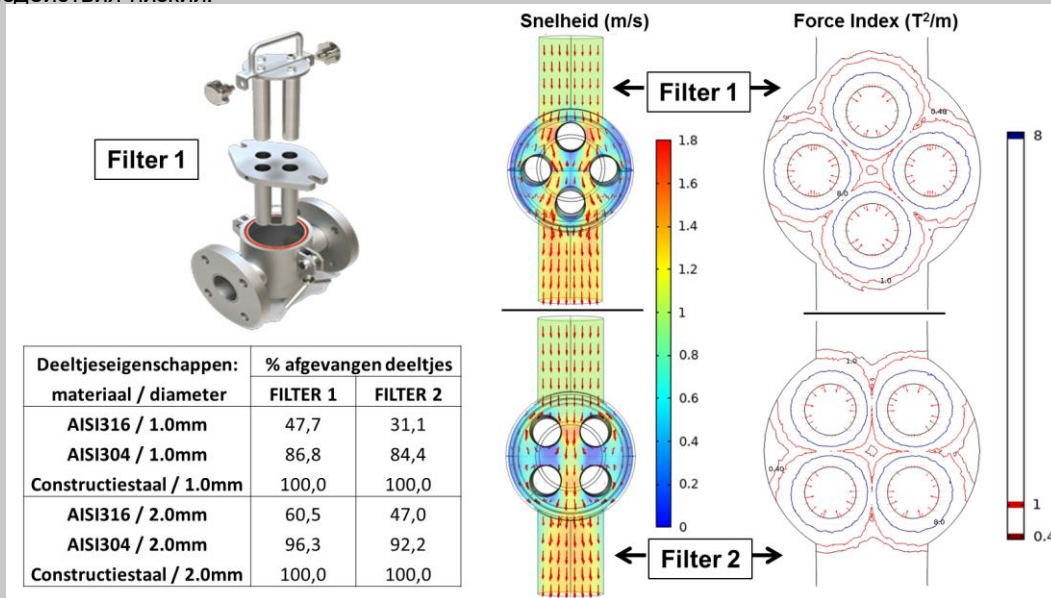
Вязкость или «троперность» потока продукта также влияет на разделительную способность магнитного фильтра. Более высокая вязкость этого потока усложнит прохождение частицами потока продукта в сторону магнитов.



Работающая система магнитного разделения

## Влияние условий потока (продолжение)

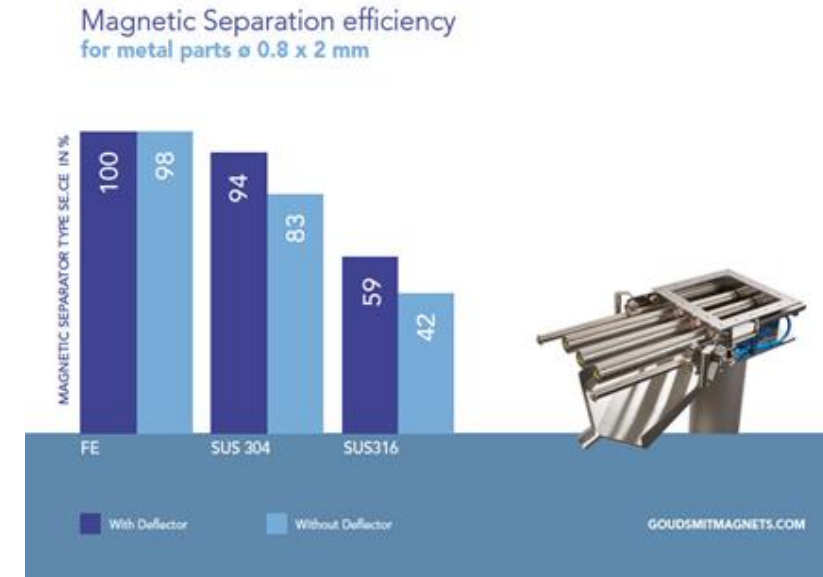
Не только высота скорости потока продукта через сепарационную систему, но и *схема*, с помощью которой он проходит внутри системы. Другое распределение скоростей потока вдоль магнитов конкретной системы разделения может привести к различным характеристикам разделения. Это связано с тем, что частицы могут течь вдоль магнитов на более высокой скорости и/или на большем расстоянии, что значительно снижает вероятность того, что эти частицы будут захвачены. Мы видим это, например, на рисунке ниже. Здесь мы сравниваем профиль потока и процент захваченных частиц для системы сепарации Goudsmiit (фильтр 1) с профилем потока той же системы при тех же условиях потока, но повернутых с помощью прутков 45° (фильтр 2). Как мы видим, процент разделения для фильтра 2 значительно ниже, особенно для частиц RVS316 из нержавеющей стали. Вероятная причина этого заключается в том, что через середину фильтра проходит большее количество частиц, где они не встречаются со штоком и где индекс силы воздействия низкий.



Сравнение разделительной способности (i) магнитного фильтра SSFN005038 Goudsmiit (фильтр 1) и (ii) того же фильтра с магнитами прутка вращается на 45° (фильтр 2). Вода проходит через оба фильтра со скоростью на входе 1 м/с и давлением на выходе 1 бар.

## Свойства частиц также играют роль

Как мы можем ясно определить из предыдущего примера, вероятность попадания частицы в магнитную систему разделения также зависит от *материала* и *размера* этой частицы. NB 304 и 316 SS менее магнитны, чем конструкционная сталь, что приводит к более низкому проценту разделения. Кроме того, *форма* частицы также влияет на вероятность ее застревания. Эти зависимости не выражены в измерениях плотности магнитного потока.



Магнитная сепарационная система Goudsmiit (справа) и соответствующие значения мощности сепарации, выраженные в процентах от захваченных частиц (слева). Дефлектор — это объект (труба или лента), который специально расположен в потоке для изменения структуры потока и, таким образом, увеличения разделительной способности.

В примере на предыдущей странице мы снова использовали метод конечных элементов как для магнитного поля, так и для поля потока продукта. С помощью так называемой трассировки частиц мы рассчитали, сколько частиц определенного типа образца можно захватить с определенным диаметром.

## Каково значение измерения плотности магнитного потока при оценке магнитных сепараторов?

При магнитном разделении плотность магнитного потока является определяющим фактором, но не единственным фактором для магнитной силы, которая работает на частицах, подлежащих захвату. В результате измеренные значения плотности потока в магнитном фильтре являются действительными, но недостаточными для разделительной способности этого фильтра. Для полной оценки системы магнитного разделения мы также должны учитывать градиент магнитного потока (или эквивалент индекса силы), условия потока продукта и свойства частиц, подлежащих захвату.



YouTube:

Отношение между плотностью магнитного потока и разделением:

<https://drive.google.com/file/d/1SRY0esYJWPloIFgPQaJnLADba6dwQUsS/view?usp=sharing>

Как измерить плотность магнитного потока:

<https://www.youtube.com/watch?v=XBqD7HFXWd0>

Индекс силы

[https://www.youtube.com/watch?v=zgEG\\_Baqsrs](https://www.youtube.com/watch?v=zgEG_Baqsrs)

FEM — метод конечных элементов

<https://youtu.be/97RcfKic3y8>

<https://youtu.be/OOaCibPLxCs>

Дополнительная информация?

[www.goudsmitmagnets.com](http://www.goudsmitmagnets.com)

Тел.: +31 (0)40 2213283

Martijn Leskens: [ml@goudsmit.eu](mailto:ml@goudsmit.eu)