

# Сушка и охлаждение сахара с учетом специфических требований и условий окружающей среды\*

Хартмут Хафеман, Хеннинг Грибель

Фирма ВМА разрабатывает и изготавливает оборудование для сушки и охлаждения сахара уже несколько десятилетий. За прошедшее время появилась такая продукция, как барабанный сушильно-охладительный аппарат и горизонтальный охладитель сахара с псевдоожиженным слоем. Последнее промышленное применение – это вер-

тикальный охладитель с псевдоожиженным слоем фирмы ВМА, который был смонтирован и успешно введен в эксплуатацию на сахарном заводе Саванна компании «Империл Шугар» в США.

В данной статье основное внимание сосредоточено на важности учета индивидуальных требований и конкрет-

ных условий окружающей среды для адекватного выбора оборудования для сушки и охлаждения.

*Ключевые слова:* сахар, сушка, охлаждение, барабанный сушильно-охладительная установка, охладитель с псевдоожиженным слоем

## 1 Введение

Качество белого сахара в результате производственного процесса должно отвечать требованиям, которые становятся все более жесткими. Это очевидно, исходя из широкого спектра существующих систем сертификации. В этой связи, сушка и охлаждение сахара после центрифуг должны играть решающую роль, и эта стадия процесса производства все больше превращается в стадию кондиционирования сахара перед его хранением, рассевом и упаковкой. Для проектирования требуемых производственных систем должны быть известны и адекватно

учтены основные физические условия. В зависимости от конкретных потребностей и условий окружающей среды, процесс можно оптимизировать различными путями, как показано в этой статье.

## 2 Важность сушки и охлаждения сахара

Охлаждение и, в частности, кондиционирование, является конечным этапом производства белого и рафинированного сахара. Оно переводит сахар в устойчивое состояние для хранения, упаковки и транспортировки. Максимальное остаточное содержание влаги

зависит от качества сахара и должно быть в пределах от 0,03 до 0,04 %, тогда как максимальная температура, которая зависит от технических требований потребителя, климатических условий и наличной технологии хранения в силосе, должна составлять от 25° до 40 °С. Конечный продукт не должен содержать комков.

Опыт показывает, что свежесушенный и охлажденный кристаллический сахар проходит фазу кондиционирования всего за несколько первых суток после выработки. В зависимости от условий окружающей среды только что выработанный сахар может снова потерять свои свойства связывать

# SWECO®

**Впечатляющая производительность.  
Распространен по всему миру.**

Legendary performance.  
Worldwide presence.

**SWECO, мировой лидер в области разделения частиц на фракции, оборудование широко применяется в сахарной промышленности и в производстве удобрений**

SWECO, world leader in particle separations and with many references in the sugar and fertilizer industries



We put technology in motion.™

www.sweco.com  
info@sweco.com

воду за относительно короткое время (в течение первых одного-двух дней), т.е., часть связанной воды освобождается. В силосах или в упаковках сахара эта освобожденная влага вызывает комкование и слеживание. Опыт ясно показывает, что медленное высушивание в сочетании с плавным перемещением оказывает положительное влияние на свойства сахара при хранении.

### 3 Идеальные решения для удовлетворения различных потребностей

В зависимости от конкретных потребностей, а также от условий окружающей среды, к достижению оптимального качества ведут различные пути. Ниже приведен пример для того, чтобы представить набор вариантов для сахарного завода с учетом как холодных, так и теплых климатических условий.

Варианты основаны на следующих общих допущениях:

- производительность: 100 т/час;
- качество: категории ЕС1/ЕС2;
- коэффициент неравномерности: 35 %;
- температура влажного сахара: 60 °С;

- размер кристаллов: 0,6 мм;
- содержание влаги во влажном сахаре: 0,7 %;
- остаточное содержание влаги: 0,03 %.

Две следующие ситуации служат примером для иллюстрации влияния различных условий окружающей среды:

А) Сахарный завод в умеренной или холодной климатической зоне как, например, в Северной Европе, странах СНГ или в северной части Соединенных Штатов. Заводы в этих зонах работают преимущественно в холодное время года с сентября по январь, когда температура окружающей среды обычно низкая, а атмосферный воздух имеет достаточный и, в то же время, полученный с низкими затратами, потенциал для поглощения и отдачи как влаги, так и тепла сахара, который нужно высушивать.

При расчетах для холодных условий приняты следующие допущения:

- температура воздуха (средняя): 15 °С;
- влажность воздуха (средняя): 7,5 г/кг сухого воздуха;
- имеющаяся в наличии поверхностная вода: 15 °С;
- требуемая температура сухого сахара: 30 °С.

В) Сахарный завод, который работа-

ет в теплом климате или сезоне, когда преобладающая температура окружающей среды и влажность воздуха создают значительно более жесткие погодные условия для двух этапов процесса, рассматриваемых здесь.

При расчетах для теплых условий приняты следующие допущения:

- температура воздуха (средняя): 39 °С;
- влажность воздуха (средняя): 27 г/кг сухого воздуха;
- имеющаяся в наличии поверхностная вода: 20 °С;
- требуемая температура сухого сахара: 35 °С.

Для холодных и теплых климатических условий есть следующие варианты:

- Только барабанная сушилка/охладитель; с дополнительным охладителем воздуха/осушителем воздуха для теплых климатических условий;
- Барабанная сушилка/охладитель с горизонтальным охладителем с псевдооживленным слоем последовательно по потоку; с дополнительным охладителем воздуха/осушителем воздуха для теплых климатических условий;
- Барабанная сушилка/охладитель с вертикальным охладителем с

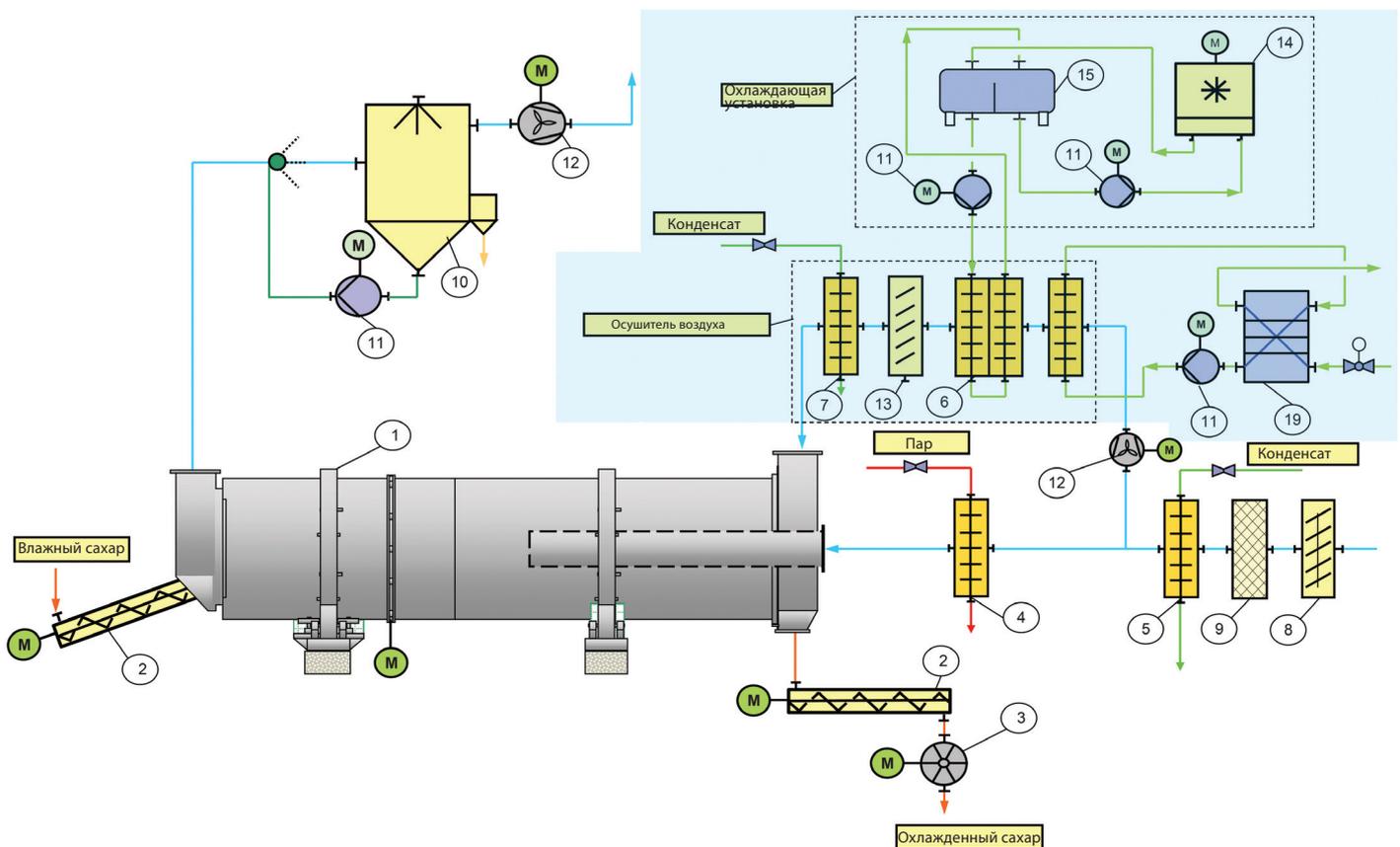


Рис. 1. Вариант 1 – барабанная сушилка (подписи к рисунку см. рис. 3)

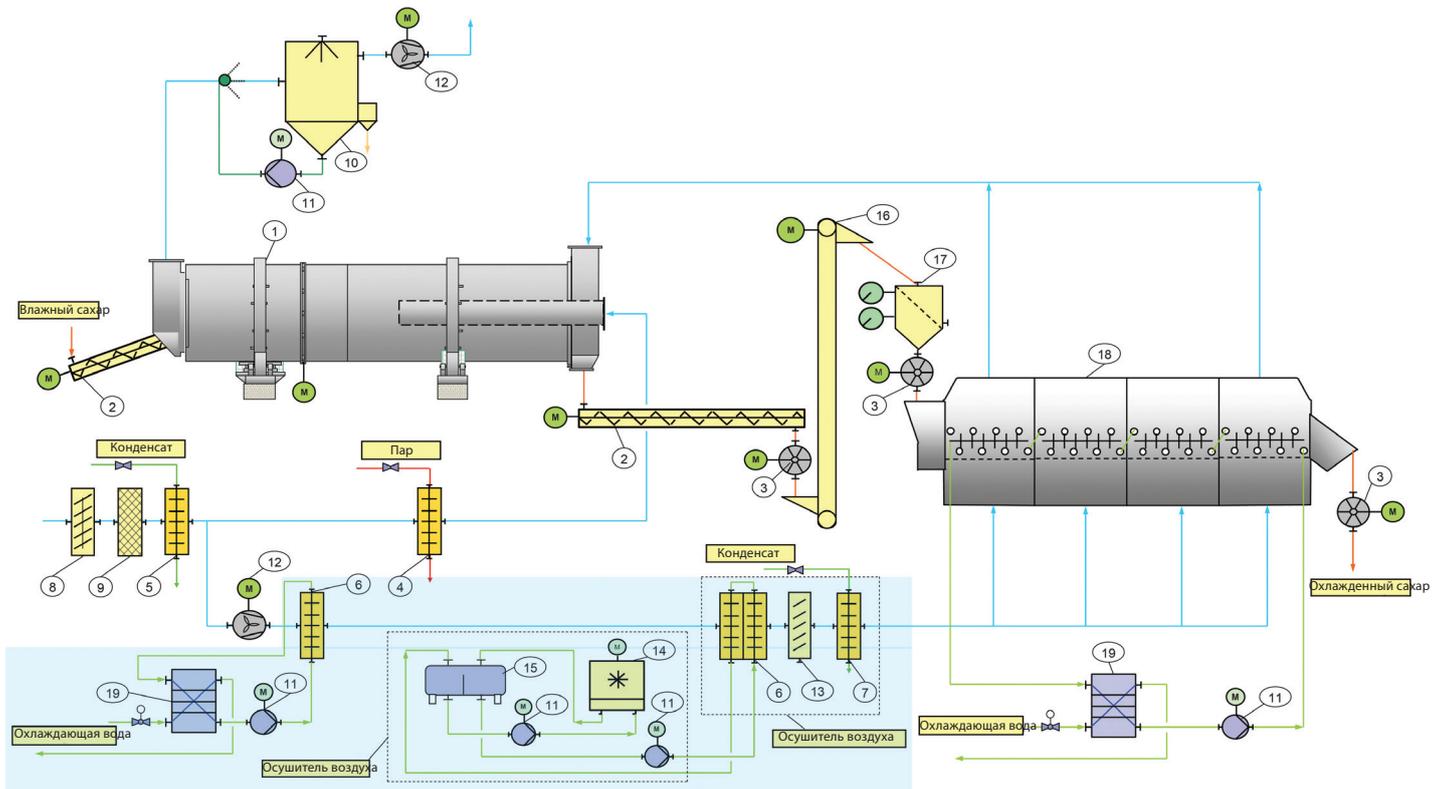


Рис. 2. Вариант 2 – барабанная сушилка с горизонтальным охладителем с псевдооживленным слоем (подписи к рисунку см. рис. 3)

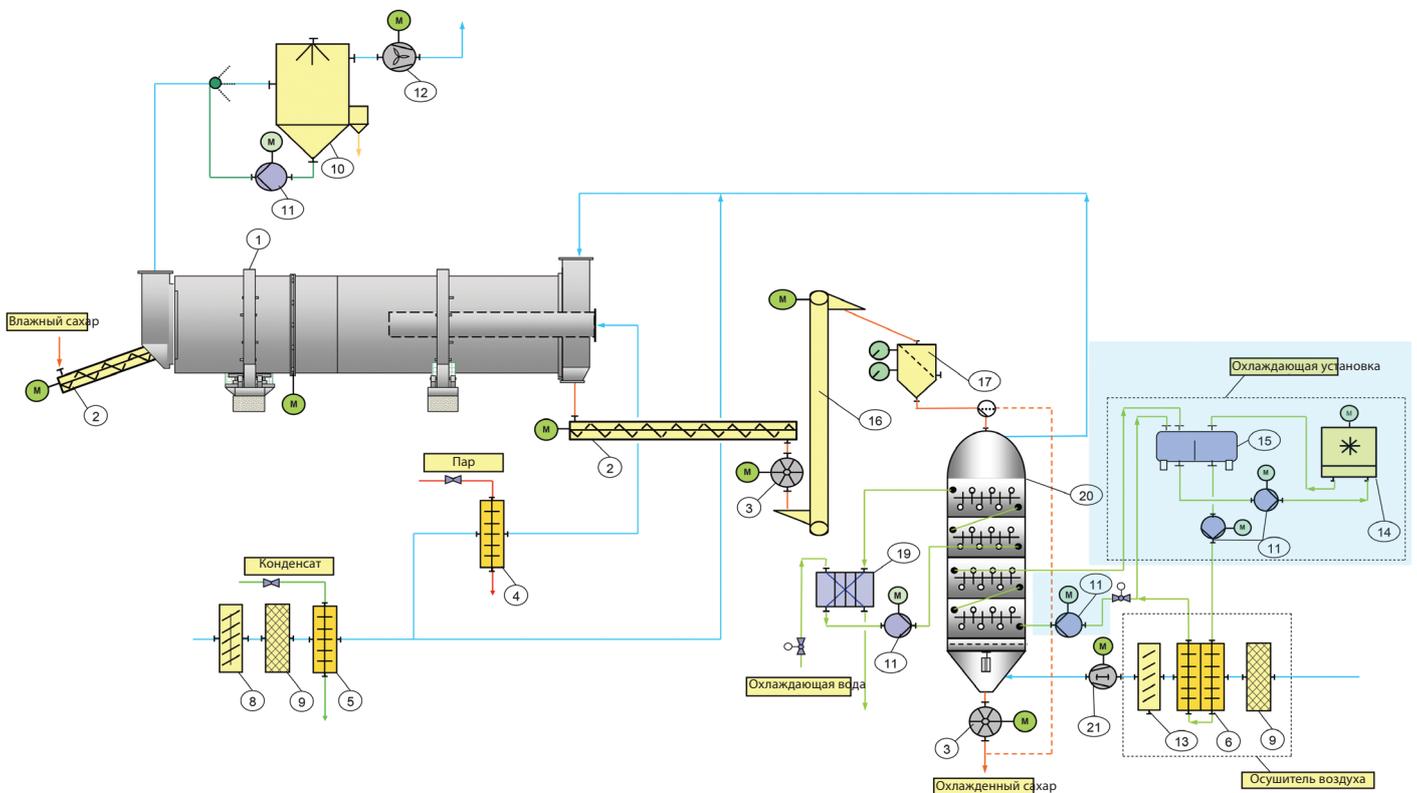


Рис. 3. Вариант 3 – барабанная сушилка с вертикальным охладителем с псевдооживленным слоем и кондиционированием воздуха

1 – барабанная сушилка; 2 – шнек; 3 – турникет; 4 – подогреватель воздуха; 5 – защита от замерзания (опция); 6 – охладитель воздуха; 7 – теплообменник для охлаждения воздуха; 8 – защитная решетка; 9 – фильтр атмосферного воздуха; 10 – мокрый скруббер; 11 – насос; 12 – вентилятор; 13 – каплеуловитель; 14 – охладитель; 15 – буферный сборник; 16 – ковшовый элеватор; 17 – отделитель комков; 18 – охладитель с псевдооживленным слоем горизонтальной конструкции; 19 – пластинчатый теплообменник; 20 – охладитель с псевдооживленным слоем вертикальной конструкции; 21 – нагнетательный вентилятор

псевдоожиженным слоем последовательно по потоку; с дополнительным охладителем воздуха/осушителем воздуха для теплых климатических условий.

Обычно высушивание сахара осуществляется в барабанной сушилке (рис. 1). Плавное относительное движение кристаллов предотвращает образование аморфных кристаллических слоев на поверхности кристалла, а противоточный принцип работы обеспечивает легкий и эффективный процесс. Кроме того, всегда обеспечивается эффект охлаждения.

На рис. 1 показана схема сушильно-охладительной установки. Когда данный вариант применяется в холодных климатических условиях, то 100 т/час сахара, принятых в качестве допущения для расчета, могут быть охлаждены теплым воздухом с температурой 15 °С до требуемой конечной температуры 30 °С. Однако, в этих условиях достигается верхний предел по показателям работы установки и ее необходимо дооснастить барабаном больших размеров. Если же нет воздуха с температурой 15 °С или установка работает в теплом климате, то температура сахара на выходе будет выше при той же производительности, или необходима дополнительная система охлаждения, которая позволит сочетать осушение воздуха и вторичный нагрев охлаждающего воздуха. Дополнительное оборудование, необхо-

димое для работы установки в теплых климатических условиях, выделено светло-голубым цветом на рис. 1.

Указанный выше вариант 1, в котором используется только барабанная сушилка/охладитель и обеспечивается максимум простоты и надежности, успешно выдержал испытания при многочисленных внедрениях. В холодных климатических условиях расход энергии на этой установке очень низкий; однако, расход значительно увеличивается при эксплуатации в теплом климате, поскольку возникает необходимость в охлаждении и кондиционировании воздуха.

Если необходимо обеспечить более низкую температуру сахара или более высокую производительность, то данная система больше не подходит. В этих случаях поток сахара должен быть либо разделен между двумя и более линиями, либо последовательно по потоку добавлен охладитель. Системы с установками с псевдоожиженным слоем, как показано на рис. 2 с горизонтальным охладителем, являются хорошим решением в этих условиях. Такой вариант также применим при работе установки в теплом климате, поскольку атмосферный воздух необходимо охладить и, возможно, также и осушить. Необходимое оборудование выделено на рис. 2 светло-голубым цветом. Установленный по потоку аппарат с псевдоожиженным слоем работает не только на воздухе; в

нем также используется холодная вода для отбора тепла из сахара.

Холодная вода протекает по трубам, расположенным внутри слоя псевдоожиженного сахара и поглощает тепло, имеющееся в сахаре, и выводит его наружу. При таком конструктивном решении площадь, занимаемая охладителем с псевдоожиженным слоем, становится значительно меньше, чем у варианта без охладительных труб. Меньшая занимаемая производственная площадь автоматически означает, что требуется меньше воздуха для псевдоожижения.

Выходящий из охладителя с псевдоожиженным слоем воздух снова используется в барабане. Часто можно приспособить эти два аппарата один к другому таким образом, что весь отработавший воздух используется и дальше. Большая часть энергии, содержащейся в сахаре, может быть, например, использована в качестве энергии для сушки в барабане. Это является важным шагом для повышения энергетической эффективности установки в целом.

Эффективность такого двойного использования воздуха становится еще более очевидной, когда установка эксплуатируется в теплом и влажном климате, где охлаждающий воздух необходимо и охладить и осушить. Когда количество поступающего воздуха снижается, это автоматически означает, что может быть существенно уменьшено также и количество энергии, необходимой для охлаждения и удаления влаги из воздуха.

Несмотря на меньшие размеры по сравнению с обычными охладителями, для установки горизонтального охладителя с псевдоожиженным слоем фирмы ВМА все еще требуется много места. Особенно, когда необходимо увеличение производительности, этого места очень часто нет.

Кроме того, снижение энергозатрат на большинстве заводов считается задачей с высоким приоритетом.

В настоящее время фирма ВМА предлагает сахарной промышленности компактную вертикальную установку для кондиционирования сахара с псевдоожиженным слоем (рис. 3) в качестве приемлемой альтернативы горизонтальной установке с псевдоожиженным слоем. Она позволяет снизить расход воздуха и потребление



Spomasz Zamość S.A.

**Spomasz Zamość S.A.**

ul. Szczepieszka 19, 22-400 Zamość (Польша)

Тел./Факс: +48 84-639 28 95, marketing@spomasz.biz.pl

#### Производитель

**роторных барабанных сепараторов** (пульполовушка для отделения пульпы/мезги воды/соков и других жидкостей). Барабанные сепараторы выполнены в стандарте из стали 304 или 316L. Мощность привода 1,5 кВт, 7,2 об./мин. с возможностью регулировки инвертором в диапазоне от 3,5 до 10 об./мин.

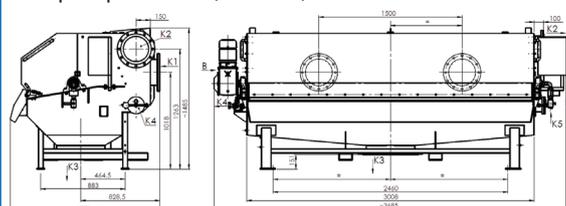
Сепараторы оснащены автоматическим шкафом управления, электромагнитным запорным клапаном для промывания ситом, ручной регулировкой силы зажима скребка.

Диапазон производимых барабанных сепараторов:

**Диаметры щелевого сита** – 630 мм и 916 мм,

**Длина сепараторов** 1000 мм, 1500 мм, 2000 мм, 2500 мм, 3000 мм.

Сепаратор тип ОВ-3,0/916х0,5 мм



энергии при сохранении преимуществ псевдооживленного слоя по сравнению с колонным аппаратом без использования воздуха для перемещения сахара. Для этого варианта всегда должно осуществляться кондиционирование поступающего воздуха. При работе в теплых условиях окружающей среды применяется более мощный водяной охладитель для кондиционирования поступающего воздуха таким образом, что этот воздух может частично выполнять функцию охлаждающих труб.

На рис. 4 показана конструкция аппарата для кондиционирования сахара. При открывании и закрывании воздухораспределительной пластины в нижней части устройства для кондиционирования, продукт транспортируется из зоны обработки в нижнюю часть аппарата, где выгружается с помощью турникета. Поток твердого вещества регулируется периодическим открыванием и закрыванием распределительной пластины. За счет этого обеспечивается одинаковое время пребывания продукта. Благодаря большой свободной поверхности распределительной пластины перепад давления очень низок. Количество сахара внутри аппарата регулируется по перепаду давления в псевдооживленном слое.

Благодаря созданию псевдооживленного слоя вертикальные кондиционеры с кипящим слоем имеют в три, четыре раза выше скорость теплопередачи по сравнению с колонными системами перемещения сахара без воздуха (Рис. 5), хотя и имеют одинаково компактные размеры.

По многим технологическим аспектам эта версия сравнима с вариантом горизонтального охладителя с псевдооживленным слоем. Однако, характерными особенностями ее являются следующие преимущества:

- скорость воздуха значительно ниже;
- занимает очень малую площадь;
- количества поступающего и выходящего воздуха настолько незначительны, что поступающий воздух можно кондиционировать при весьма низких затратах энергии (около 20 кВт);
- дополнительно к прямому применению после сушильных барабанов, эта версия может быть,

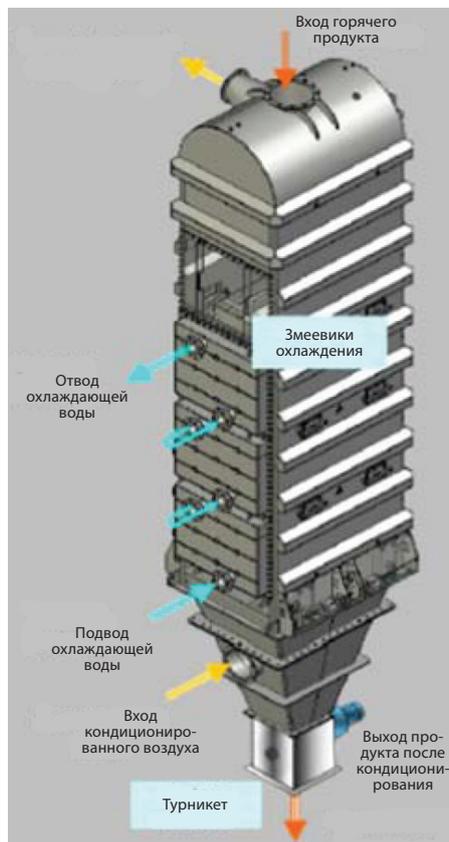


Рис. 4. Аппарат с псевдооживленным слоем для кондиционирования сахара

например, также использована с силосами для кондиционирования с вторичным охлаждением сахара по потоку;

- из-за малого количества воздуха отработавший воздух также можно отводить в централизованную аспирационную систему;
- температура сахара, которую можно достигнуть, преимущественно определяется температурой имеющейся для охлаждения воды; постоянная температура сахара после охладителя, таким образом, может обеспечиваться независи-

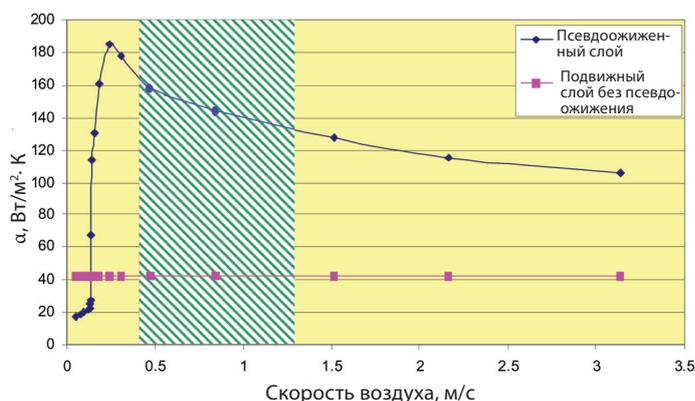


Рис. 5. Скорость теплопередачи в охладителях с псевдооживленным слоем между поверхностью теплообмена и продуктом

мо от температуры поступающего воздуха, на которую влияют условия окружающей среды.

- перемещение продукта (сверху вниз) не вызывается потоком воздуха, а происходит под действием силы тяжести;
- отверстия в днище для распределения воздуха поддерживают течение продукта также и в случае отсутствия потока воздуха (работа в аварийных условиях).

#### 4 Энергетические требования

Заводские установки, представленные выше, отличаются по стоимости, а также, очевидно, и по энергоэффективности. В табл. 1 представлен обзор, который позволяет легче сравнивать энергетические требования к различным вариантам.

С точки зрения энергетических требований, вариант 1 с барабанной сушильно-охладительной установкой является наилучшим решением, если установка работает в холодных условиях окружающей среды. В теплых условиях этот вариант, однако, является наименее эффективным решением.

#### 5 Как выбрать нужную систему для внедрения

Есть также и другие важные аспекты, кроме энергетических требований, которые должны учитываться при выборе соответствующей установки. В табл. 2 перечислены дополнительные критерии и их значимость в конкретных условиях.

Очевидно, что нет единственного «наиболее благоприятного» варианта для всех случаев практического

внедрения. Ситуацию необходимо тщательно изучать в каждом конкретном случае и в достаточной мере учитывать при проектировании установки.

#### 6 Заключение

В течение ряда лет фирма ВМА постоянно улуч-

**Табл. 1.** Обзор данных по потреблению энергии, кВт

	Холодные условия окружающей среды			Теплые условия окружающей среды		
	Рис. 1 DDC*	Рис. 2 DDC + HFC	Рис. 3 DDC + VFC + AC	Рис. 1 DDC + AC	Рис. 2 DDC + HFC + AC	Рис. 3 DDC + VFC + AC
Пар	224	212	196	116	148	131
Конденсат	–	–	–	184	74	
Поверхностная вода		518	412	281	663	277
Потребление электроэнергии без охладителя	195	228	211	235	257	233
Холодная вода из охладителя	–	–	12	1033	359	299
Потребление электроэнергии охладителем	–	–	4	344	120	100

\* DDC – барабанная сушка/охлаждение; HFC – горизонтальный охладитель с псевдооживленным слоем; AC – кондиционирование воздуха; VFC – вертикальная установка для кондиционирования с псевдооживленным слоем.

**Табл. 2.** Критерии для принятия решения

	Холодные условия окружающей среды			Теплые и/или влажные условия окружающей среды		
	DDC Рис. 1	DDC + HFC Рис. 2	DDC + VFC + AC Рис. 3	DDC + AC Рис. 1	DDC + HFC + AC Рис. 2	DDC + VFC + AC Рис. 3
Производительность						
< 40 т/час	++	0	–	++	–	–
40–80 т/час	+	++	–	++	+	+
> 80 т/час	+	++	++	–	++	++
Условия окружающей среды						
Работа только зимой	++	++	0	0	0	0
Работа круглый год	0	+	++	++	++	++
Работа в тропических условиях						
Температура сахара после охладителя						
> 35°C	++	0	–	++	–	–
30–35°C	+	+	+	+	+	+
< 30°C	0	+	++	+	++	++
Примерное необходимое пространство для установки (м <sup>3</sup> объема здания), %	100	170	160	120	190	160
Свойства сахара						
Большие изменения размера кристаллов МА и качества сахара	++	0	+	++	0	+
МА < 0,5 мм	++	++	++	++	++	++
МА средний размер кристаллов	++	++	++	++	++	++
МА > 0,8 мм	0	+	+	0	+	+
Блеск кристаллов после охлаждения	0	+	+	0	+	+
Сахар-сырец	++	--	--	++	--	--
Белый или рафинированный сахар	++	++	++	++	++	++
Малое остаточное содержание пыли в сахаре после охлаждения	+	++	+	+	++	++
Сложность						
Количество машин	++	+	+	+	0	0
Сложность процесса	++	+	+	+	0	0
Сложность измерений и регулирования	++	+	+	+	0	0

шает процесс сушки и охлаждения сахара, а также оборудование для его проведения. Развитие всегда концентрировалось на оптимизации качества сахара с точки зрения остаточной влаги и с учетом самых разных климатических условий и специфических требований.

Фирма ВМА отвечает на наиболее строгие потребности по сушке и охлаждению, используя ряд своих разработок: барабанные сушилки, горизонтальный охладитель с псевдооживленным слоем и новая вертикальная установка с псевдооживленным слоем для кондиционирования.

## Литература

- 1 Meadows, D.M. (1997): Sugar drying, conditioning & storage – an overview. Pak. Sugar Journal, Oct.–Dec.

## Адрес авторов:

H. Hafemann, H. Griebel,  
 ВМА Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG,  
 P.O. Box 3325, 38022 Braunschweig, Germany;  
 e-Mail: sales@bma-de.com