



*Dr.-Ing. Mathias Trojosky studied equipment and plant engineering at Magdeburg University of Technology and earned his PhD in the field of fluidized bed technology. He has been working as Sales Manager for Allgaier since 1995. Today he is authorized signatory and responsible for drying technology as Area Manager.  
Allgaier Process Technology GmbH*



*Roland Roller completed an apprenticeship as a machine engineering technician and worked in design and sales at Mozer. Since 1994 he has been working in sales/project planning for drying equipment and as Sales Manager.  
Allgaier Process Technology GmbH*



*Michael Frey completed a dual study course in process engineering at the DHBW Mosbach with the partner company Allgaier Process Technology. He compiled the study "Energy-saving drying and cooling based on evaporative cooling" as part of his bachelor dissertation in 2013. He works in project processing for drying equipment at Allgaier Process Technology.  
Allgaier Process Technology GmbH*

## Сушка в режиме экономии энергии и охлаждение по методу «охлаждения в условиях испарения»

**Резюме:** Песок представляет собой один из наиболее часто используемых в мире строительных материалов. Наряду с другими областями применения он используется для производства строительного цементного раствора, клея для кафельной плитки, штукатурки, бесшовных полов, которые имеются в продаже в виде так называемых «сухих готовых смесей». Кроме этого, песок применяют в процессе производства стекла, в особенности высококачественный кварцевый песок, в последнее время песок используют при добыче природного газа и во многих других областях промышленности. Сушку песка необходимо осуществлять для того, чтобы, впоследствии можно было производить просеивание с получением различных фракций с более четким разделением. Охлаждение необходимо в том случае, если это требуется для последующих стадий процесса или в связи с последующим добавлением чувствительных к воздействию повышенных температур аддитивов, а также с учетом операций складирования и выполнения упаковки продукции.



Внутреннее пространство барабанной сушилки с пламенем внутри

Фирма Allgaier Process Technology GmbH ([www.allgaier.de](http://www.allgaier.de)) благодаря использованию барабанных сушилок, системы MOZER® является ведущей на рынке в области сушки песка. В первую очередь применяются двухкамерные аппараты, в которых процесс сушки осуществляется внутри барабана, в то время как процесс охлаждения во внешнем барабане того же аппарата.

Наряду с хорошо зарекомендовавшей себя, весьма прочной и недорогой установкой сушки и охлаждения в одном аппарате, системы ТК, в которой охлаждение высушенного материала осуществляется с помощью окружающего воздуха, фирма Allgaier поставляет также и систему ТК+, в которой благодаря так называемой системе охлаждения в условиях испарения („Evaporative Cooling“) удастся добиться существенной экономии горючих материалов и электроэнергии. Несколько более высокие инвестиционные затраты удастся окупить за счет экономии энергии в течение короткого отрезка времени.

Во времена растущих цен на энергоносители факторы более эффективного использования ресурсов становятся одним из наиболее важных средств для повышения экономичности и, тем самым, конкурентоспособности продукции. Кроме этого, вопросы охраны окружающей среды, последовательного повышения рентабельности и экономного расходования энергоносителей стали наиболее важными задачами общества.

По причине того, что методы термической сушки по сравнению с методом механического обезвоживания потребляют почти в десять раз больше энергии, особая

заинтересованность заключается в том, чтобы использовать по возможности наиболее эффективные технологии сушки.

Так как в особенности в промышленности строительных материалов производители ощущают повышенное влияние факторов цены наряду с потребностью производить большие объемы продукции, особое значение уделяется вопросам эффективного осуществления процесса сушки.

Благодаря комбинированному использованию барабанов для сушки и охлаждения – системы MOZER® ТК+ – фирма Allgaier обладает концепцией, которая благодаря технологии охлаждения в условиях испарения („Evaporative Cooling“) позволяет не только эффективно охлаждать высушенный песок, но и до 20 % более экономно расходовать горючие материалы.

#### Принцип действия барабанных сушилок

В барабанных сушилках ([http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_dryer](http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_dryer)) перемещение твердых материалов осуществляется за счет вращательного движения барабанов и воздействия расположенных внутри барабанов элементов конструкции.

Лопатки подхватывают влажное твердое вещество из нижней части барабана и после подъема вновь сбрасывают, благодаря чему происходит контакт горячего воздуха, используемого для сушки, с влажным твердым веществом. Поэтому особое внимание уделяется вопросам оптимального исполнения внутренних конструктивных элементов барабанов в целях обеспе-



1 Барабанные сушилки/установки для охлаждения песка

чения интенсивного контакта воздуха, используемого для сушки, с влажным твердым веществом. В настоящее время еще не возможно расчетным путем полностью определить расположение и форму внутренних конструктивных элементов, а также их необходимое количество, так что это приходится делать, опираясь на опыт, результаты испытаний и математических расчетов.

При осуществлении большинства технологий сушки твердое вещество перемещается прямококом, то есть в том же направлении, что и поток газов. Традиционные барабанные сушилки в прошлом чаще всего имели наклон в

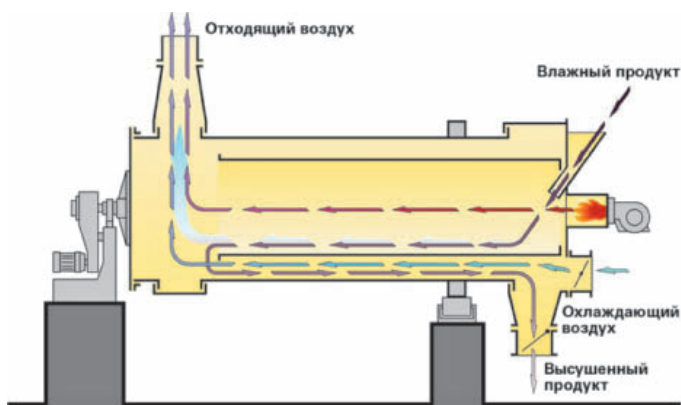
сторону узла выгрузки твердого вещества, чтобы достичь эффекта перемещения твердого вещества в барабане. С этим были связаны повышенные затраты на позиционирование барабанной сушилки в процессе эксплуатации установки, а также проблемы в связи с износом.

Сушилки с двойным барабаном производства фирмы Allgaier размещаются в горизонтальной плоскости, чтобы обеспечить перемещение твердого вещества в наружном барабане навстречу направлению перемещения твердого вещества внутри внутреннего барабана. Процесс перемещения твердого вещества в горизонтально расположенных барабанных сушилках обеспечивается благодаря так называемым направляющим лопаткам.

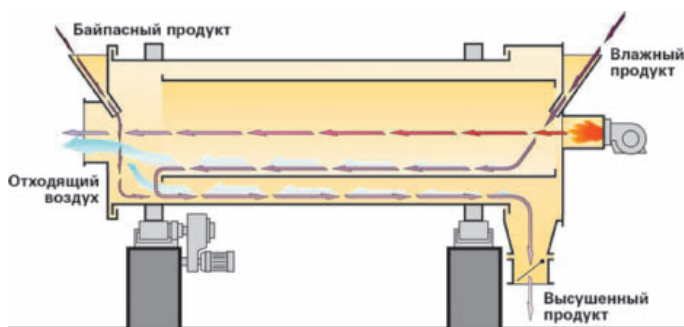
Внутри сушилки одновременно происходят равнонаправленные и перекрестные потоки вследствие перемещения газов и твердого вещества.

Влажный отходящий воздух из сушилки выводится благодаря работе воздухоудовки для отвода отходящего воздуха, он отводится через рукавный фильтр в целях отделения содержащейся в воздухе пыли, а затем через камин очищенный воздух выводится в окружающую среду. Трубные соединения системы отвода отходящего воздуха в установке барабанной сушилки выполнены сравнительно просто, так как отсос воздуха необходимо производить только в одной точке корпуса сушилки. При этом можно обычно обойтись без системы трубопроводов для подачи воздуха, которые необходимы в установке сушилок с вихревым потоком или со взвешенным слоем, так как барабанные сушилки в большинстве случаев могут эксплуатироваться с использованием пламени, расположенным непосредственно внутри сушилки, или же камера сгорания может быть смонтирована непосредственно на корпусе сушилки.

В промышленности строительных материалов обычная производительность в отношении осушаемых твердых веществ достигает от 20 до 150 тонн в час. Особым преимуществом барабанных сушилок является их невосприимчивость в отношении к сезонным или связанным с условиями производства колебаниям по-



2 Барабанная сушилка фирмы Allgaier, система MOZER® TK с воздушным охлаждением



3 Принцип действия барабанной сушилки производства фирмы Allgaier, система MOZER® TK+ с охлаждением в условиях испарения («Evaporative Cooling»)

казателей влажности загружаемого в сушилку и подлежащего сушке песка, а также в отношении колебаний производительности и зернистого состава осушаемых материалов или в отношении попадания нежелательных комков или крупных кусков.

Барабанные сушилки можно применять как для сушки сыпучих материалов с мелкими размерами частиц, так и для сушки сыпучих материалов с крупными и очень крупными размерами частиц, причем при переходе на работу с другими материалами нет необходимости в согласовании количества воздуха. При этом даже при отключении подачи воздуха, используемого для сушки, твердые материалы надежно перемещаются внутри барабанной сушилки благодаря вращению барабана. Данная особенность приводит к тому, что барабанные сушилки отличаются высокой надежностью в эксплуатации.

### Охлаждение в процессе испарения – технология «Evaporative Cooling»

После процесса сушки в большинстве случаев осуществляется процесс охлаждения нагретого в процессе сушки песка. Процесс охлаждения является необходимым потому, что для последующих операций обработки, например, транспортировки, просева, складирования, смешивания или упаковки допустимыми являются вполне определенные максимальные температуры твердых материалов. Кроме этого, охлаждение необходимо еще и потому, что к подготовленному песку подмешивают чувствительные по отношению к температуре аддитивы, например, определенные смолы, которые позволяют получать высококачественные сухие готовые смеси.

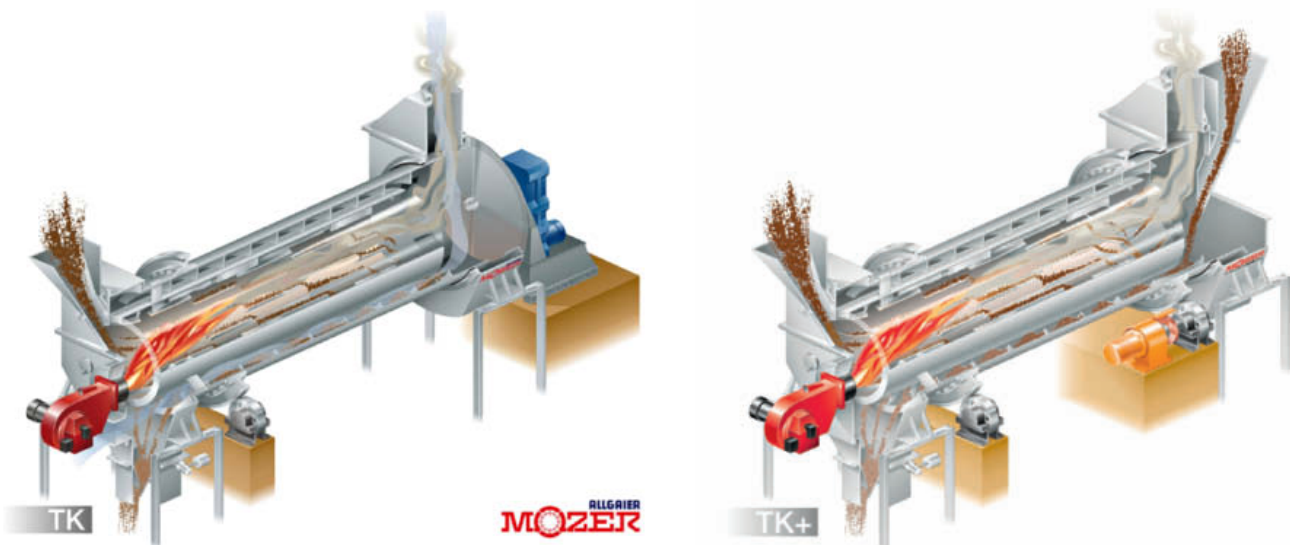
За счет охлаждения с помощью окружающего воздуха удаляется остаточная влажность из промежуточного объема сыпучей массы твердого вещества, которая содержит в себе влажный отходящий воздух сушилки. Таким образом, происходит своего рода проветривание высушенных твердых веществ, которое стабилизирует достигнутую влажность твердых веществ.

В большинстве случаев охлаждение горячего песка производится с помощью сухого воздуха из окружающей среды. Процесс обмена физическим или «чувствительным» теплом ([http://de.wikipedia.org/wiki/Sensible\\_W%C3%A4rme](http://de.wikipedia.org/wiki/Sensible_W%C3%A4rme)) между воздухом и твердым веществом приводит к охлаждению продукта. Для этого требуются значительные количества воздуха.

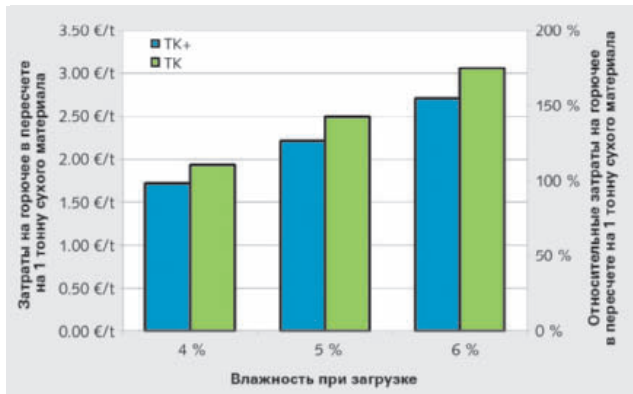
В связи с тем, что технологическое исполнение процесса охлаждения связано с затратами на изготовление аппаратов и прочего оборудования, а также с затратами энергоносителей, процесс охлаждения следует осуществлять только до действительно необходимой температуры. Для нужд индустрии строительных материалов эта температура составляет чаще всего от 55 °С до 60 °С и лишь редко от 40 °С до 45 °С.

При использовании технологии охлаждения при испарении («Evaporative Cooling») охлаждение твердых материалов производят с использованием «скрытой» теплоты ([http://de.wikipedia.org/wiki/Latente\\_W%C3%A4rme](http://de.wikipedia.org/wiki/Latente_W%C3%A4rme)), то есть теплоты испарения или улетучивания воды. В то время как определенная остаточная влажность в высушиваемом материале устраняется благодаря контакту с холодным или слегка подогретым окружающим воздухом, испарение воды приводит к охлаждению твердого вещества. Процесс сушки песка до желаемой величины остаточной влажности осуществляется при этом благодаря использованию остаточной теплоты продукта, а также благодаря способности к поглощению воды подаваемого окружающего воздуха. Теоретически охлаждение возможно до так называемой температуры «смоченного термометра» (психрометра) в соответствии с психометрическим принципом (<http://de.wikipedia.org/wiki/Psychrometer>).

Технология «охлаждения вследствие улетучивания воды» обладает тем преимуществом, что в процессе сушки удается, как экономить энергию благодаря ис-



4 3D-изображение в разрезе барабанной установки сушки и охлаждения, системы ТК с воздушным охлаждением, и системы ТК+ с подачей байпасного продукта и охлаждением в условиях испарения («Evaporative Cooling»)



5 Затраты на горючее в пересчете на 1 тонну сухого материала

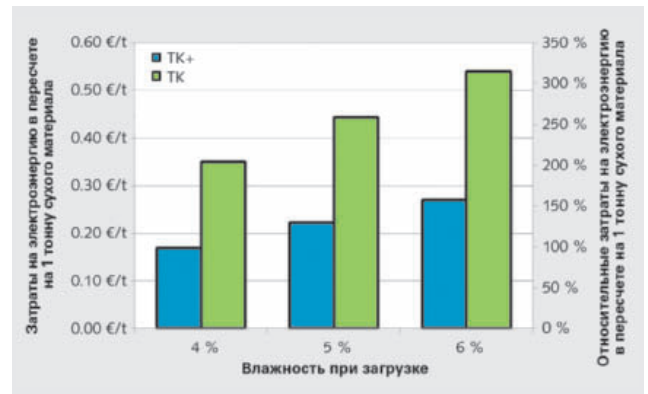
пользованию содержащейся в твердом веществе остаточной теплоты, так и охлаждать продукт.

В сушилках с псевдооживленным слоем можно добиться охлаждения в результате улетучивания воды, когда процесс сушки на первом участке установки сушки проводят таким образом, чтобы этот процесс осуществлялся не «до конца», то есть чтобы песок, содержащий еще остаточные количества влаги, поступал в зону охлаждения, в которой затем происходит удаление остаточной влаги и охлаждение с помощью подводимого охлаждающего воздуха. В особенности в сушилках с псевдооживленным слоем с высокой производительностью осушения твердых материалов может оказаться проблематичным регулирование такой сушильной установки как в отношении величины влажности продукта перед охлаждением, так и в отношении требуемой конечной влажности, если по причине колебаний начальной влажности песка слишком много влажного песка попадет в зону охлаждения. В этом случае не удаётся оказать влияние на величину желаемой конечной влажности продукта.

Специально для сушки песка и других минералов в последнем десятилетии вновь стали более интенсивно применяться барабанные сушилки – еще и потому, что фирма Allgaier со своими современными и очень прочными барабанными сушилками, а также комбинированными барабанами для сушки и охлаждения предложила техническую возможность для интенсивной эксплуатации установки, при этом с очень высокой энергетической эффективностью.

В то время как стандартная модель с комбинированным барабаном для сушки и охлаждения, система MOZER® TK, работает по методу охлаждения благодаря физическому теплу окружающего воздуха, у более усовершенствованной системы TK+ (или «TK plus») применяется метод охлаждения в процессе испарения («Evaporative Cooling»).

В установках системы TK+ основной поток влажного песка подвергается сушке во внутренней трубе установки сушки/охлаждения, в то время как после завершения процесса сушки во внутренней трубе остаточный поток влажного песка в режиме регулируемой



6 Затраты на электроэнергию в пересчете на 1 тонну сухого материала

подачи таким образом подается в систему, что происходит перемешивание горячего высушенного песка с холодным, еще не высушенным песком (так называемый «байпасный материал») (смотри рис. 3).

Оба потока, горячий, сухой продукт из внутреннего барабана и байпасный материал, интенсивно перемешиваются во внешнем барабане благодаря направляющим щиткам и перемещаются навстречу небольшому потоку холодного окружающего воздуха. При этом влага, содержащаяся в байпасном материале, испаряется (улетучивается), в то время как горячий продукт в это время охлаждается благодаря эффекту охлаждения с одновременным испарением («Evaporative Cooling»).

Таким образом, для процесса сушки уменьшенного основного объема влажного песка во внутренней трубе установки сушки/охлаждения потребуются пропорционально меньшее количество горючего (природного газа, мазута, сжиженного газа) в диапазоне от 80 % до 90 %, в то время как благодаря эффекту охлаждения в условия испарения кроме этого потребуется еще и значительно меньшее количество охлаждающего воздуха. Отсюда как следствие мы приходим к выводу, для в установках системы TK+ требуется использовать значительно меньшие по мощности воздуходувки для отработанного воздуха и меньшие по производительности установки фильтров для отработанного воздуха. Наряду с уменьшением потребления горючих материалов необходимо отметить еще и снижение потребления электроэнергии.

Кстати, для переоснащения стандартной системы MOZER® TK с целью перехода на систему TK+ не требуется переделывать или заменять имеющуюся установку для удаления пыли.

### Исследования подтверждают экономию потребления энергии благодаря технологии охлаждения в условиях испарения

Многолетний опыт и надежные расчетные программы позволяют заранее рассчитывать описанные выше эффекты и поставлять заказчикам установки с надежными гарантированными рабочими параметрами. Для того чтобы проверить, насколько поставленные

до сегодняшнего дня фирмой Allgaier установки подтверждают прогнозы в отношении параметров потребления энергоносителей в условиях промышленной эксплуатации, были проведены интенсивные исследования на примере одиннадцати поставленных фирмой Allgaier и которые уже находятся в течение многих лет в режиме эксплуатации установок путем проведения замеров всевозможных рабочих параметров процесса и расходных коэффициентов.

Исследованию подверглись как установки сушилки/охлаждения, системы MOZER® ТК, так и установки системы ТК+. Сопоставление параметров, полученных с помощью существующих расчетных программ, и величин, замеренных на установках, показало совпадение в узких пределах с первоначальными, теоретическими расчетами установок.

Исследования подтвердили, что технология охлаждения в условиях испарения («Evaporative Cooling») при использовании установок системы ТК+ позволяет экономить от 10% до 20% горючего. Кроме этого было подтверждено, что при использовании установок системы ТК+ благодаря технологии охлаждения в условиях испарения («Evaporative Cooling») удастся сэкономить почти половину потребляемой электроэнергии, что связано с уменьшением количества отходящего воздуха.

На **рисунке 5** представлены различные затраты на горючее в абсолютных и относительных величинах для установок системы ТК и ТК+ при влажности песка в 4%, 5% и 6%.

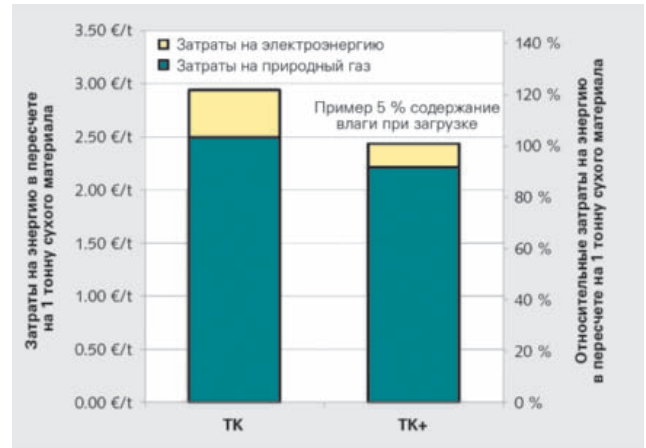
На **рисунке 6** представлены затраты на электроэнергию для обеих систем, с учетом различных количеств воздуха.

На **рис. 7** представлен пример для песка с начальной влажностью в 5% с указанием усредненных общих затрат на энергию, потребляемую для сушки одной тонны песка. Таким образом, становится ясно, что потенциал экономии барабанной сушилки с охлаждением, системы ТК+, зависит от влажности песка. Более высокая влажность песка приводит к более высоким преимуществам установки ТК+.

В данном месте необходимо подчеркнуть, что в принципе следует стремиться к тому, что в установку сушилки песок должен поступать по возможности с минимальными показателями влажности. На величину начальной влажности песка можно повлиять, например, путем размещения песка на хранение на срок в несколько дней в целях естественного обезвоживания или путем сооружения навеса над месторождением в целях обеспечения защиты от дождя.

**Охлаждение в условиях испарения или охлаждение с помощью воздуха?**

Решение о том, какая из имеющихся в распоряжении систем для сушки и охлаждения является оптимальной для существующей задачи, должно принимать-

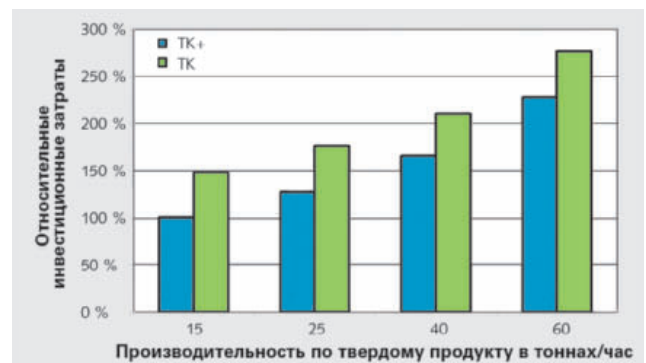


7 Затраты на энергию в пересчете на 1 тонну сухого материала при влажности песка в 5% в сравнении для различных установок

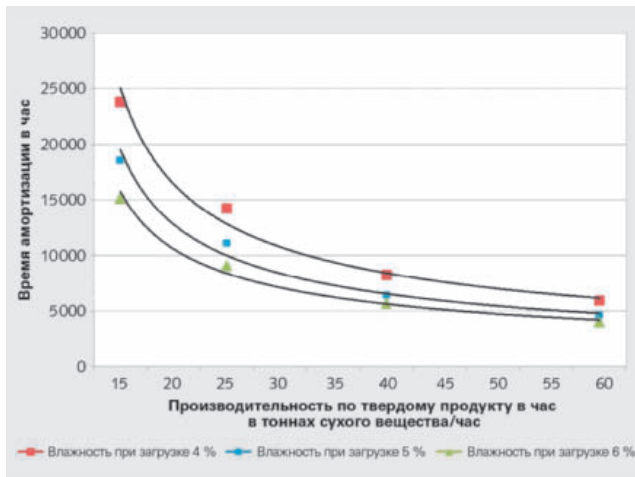
ся в каждом конкретном случае в зависимости от многих факторов. Для принятия решения о том, какая система является оптимальной для конкретной области применения, может использоваться расчет амортизации.

Сушильная установка, основанная на системе барабанов для сушки и охлаждения ТК+, требует более высоких затрат в связи с регулируемой подачей основного потока влажного песка и дозированной подачей потока байпасного продукта. Для регулируемого дозирования влажного продукта в распоряжении имеется несколько технических вариантов. Можно использовать как согласованные между собой по производительности ковшовые элеваторы или ленточные транспортеры, так и решение с регулируемым отводом потока для твердых материалов.

Дополнительные затраты в связи с операциями подачи твердых материалов, а также в связи с надежными электронными программами управления и более сложными техническими задачами по созданию комбинированной системы барабанов для сушки и охлаждения ТК+ приводят к более высокой цене установки согласно системе ТК+ по сравнению со стандартными системами ТК.



8 Объем инвестиционных затрат в сопоставлении (в относительных величинах)



### 9 Время амортизации в зависимости от производительности установки сушки

В целом известно, что по мере увеличения габаритов установки объем инвестиционных затрат изменяется с депрессивной зависимостью. Так как дополнительные затраты на оснащение системы ТК+ по мере увеличения габаритов установки также уменьшаются относительно габаритов установки, увеличения затрат на установку сушки и охлаждения системы ТК+ по мере увеличения производительности в отношении переработки твердых материалов так же мало отражаются на бюджете.

На рис. 8 представлено изменение затрат на приобретение обеих систем с нормированными показателями

относительно установки системы ТК с производительностью сушки в 15 тонн/час.

Благодаря значительно более низким затратам на энергоносители (стоимость горючего + стоимость электроэнергии) при использовании технологии с охлаждением в условиях испарения («Evaporative Cooling») дополнительные затраты в связи с регулированием количества байпасного продукта и системой регулирования работы установки ТК+ амортизируются уже через 5.000 – 8.000 рабочих часов.

Чем выше производительность установки и влажность песка, тем короче период амортизации (смотри рис. 9) дополнительных затрат установки ТК+ по сравнению с установкой ТК.

При этом следует учитывать, что при снижении влажности песка происходит сокращение абсолютных объемов инвестиционных затрат и затрат на энергоносители любой установки сушки.

Время амортизации рассчитывалось на основании действовавших в Германии в 2013 году цен на энергоносители. Если расценки на энергоносители в соответствии с общими ожиданиями будут расти, то время амортизации дополнительно сократится. Как раз для установок с высокой производительностью и при работе с материалами с высокой начальной влажностью имеет смысл применять энергосберегающие технологии осушки, например, систему MOZER® ТК+.

### Преимущества системы в виде обзорного перечня

#### Общие характеристики барабанных сушильных установок:

- пригодность для сушки как грубых, так и мелкозернистых твердых продуктов
- нечувствительность по отношению к очень грубым или тяжелым твердым продуктам
- небольшие затраты на оборудование для подачи воздуха и монтажа горелки
- нечувствительность по отношению:
  - к изменениям зернистости твердых продуктов,
  - к колебаниям показателей влажности и производительности,
  - к отключениям подачи воздуха, используемого для сушки.
- небольшие показатели удельного потребления электроэнергии
- высокие температуры воздуха, используемого для сушки, в сочетании с низкими потерями отходящего тепла
- низкие показатели потребления энергии для нужд обогрева, в том числе и в диапазоне неполной нагрузки благодаря регулированию количества отходящего воздуха
- простой монтаж и быстрый пуск в эксплуатацию
- терпимость в отношении неоптимальных условий эксплуатации
- очень прочное оборудование с толстыми стенками обладает длительным сроком эксплуатации
- возможно размещение под открытым небом при суровых условиях эксплуатации
- умеренный износ и невысокая потребность в запасных частях

#### Преимущества установок сушки/охлаждения с воздушным охлаждением согласно системе MOZER® ТК:

- давно зарекомендовавшая себя технология
- небольшая потребность в инвестициях

#### Преимущества установок сушки/охлаждения с использованием технологии охлаждения в условиях испарения («Evaporative Cooling») согласно системе MOZER® ТК+:

- сокращение наполовину количеств отходящего воздуха по сравнению с технологией с воздушным охлаждением
- сокращение наполовину потребления электроэнергии по сравнению с технологией с воздушным охлаждением
- в среднем на 15% снижение потребления природного газа