

УДК 621.742.42

## РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ФОРМОВОЧНОГО ПЕСКА

Газиев Р.Р.<sup>1</sup>, Янгиров Д.И., Балянов Е.А.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Салаватский филиал, г. Салават  
e-mail: <sup>1</sup>gaziev.grr@yandex.ru*

**Аннотация.** В работе приводятся основные результаты по разработке конструкции установки для подготовки формовочного песка литейного производства. Произведены технологические и механические расчеты элементов и узлов установки и подобрано соответствующее стандартное оборудование. Определена эффективность ее применения.

**Ключевые слова:** барабанная сушилка, песок, сушка, насадка, бандаж, роликовая опора, цепная передача

### Введение

Литейное производство по сравнению с другими способами изготовления заготовок деталей машин (обработка давлением, ковка, сварка) позволяет получать заготовки сложной конфигурации с заданными свойствами и минимальными допусками на механическую обработку. На долю литых деталей в среднем приходится 50...70 % массы и до 20 % стоимости машин [1].

Основными задачами современного литейного производства являются снижение себестоимости продукции и повышение качества отливок. Для этого следует отказаться от производства литья в цехах с низкой степенью механизации и автоматизации производства, использующих устаревшие технологические процессы [2].

Важнейшим условием получения качественной формы является прочность песчано-глинистой формовочной смеси и её равномерное распределение по объёму оснастки [1].

Технологический процесс приготовления формовочных смесей складывается из следующих основных операций: предварительной обработки свежих формовочных материалов и добавок; предварительной обработки формовочной смеси, бывшей в употреблении; приготовление смеси из предварительно подготовленных свежих и отработанных формовочных смесей, добавок и крепителей.

Несмотря на то, что процесс изготовления песчаных форм всегда связан с неблагоприятными условиями труда, широкое распространение он получил благодаря своей относительно низкой стоимости и универсальности.

В настоящее время существуют и развиваются специальные методы литья, которые во многих случаях более экологичны и дают возможность получать отливки по чистоте поверхности и геометрической точности более высокого класса.

Но, тем не менее, процесс литья в песчаные формы продолжает совершенствоваться и, следует полагать, что будет широко применяться еще долгое время [1].

### **Актуальность работы**

На ООО “Ремонтно-механический завод” ОАО “Газпром нефтехим Салават” проведение ремонта деталей и узлов нефтехимического оборудования выполняется с применением литейных операций. Так, на литейном участке механоремонтного цеха отливают детали насосно-компрессорного оборудования из чугуна, стали и бронзы.

Наиболее трудоемкая операция в технологическом процессе получения отливок – это операция формовки. Более 80 % отливок из черных и цветных сплавов в настоящее время получают различными методами механического, химического и физического воздействия в песчаных формах. Качественная сушка и просеивание песка играют важную роль при предварительной обработке свежих формовочных материалов, добавок и формовочной смеси, бывшей в употреблении [3].

В настоящее время просеивание песка производится вручную, что отнимает достаточно много времени и сил. Сушка песка в печи занимает до 24 часов, и за один раз можно просушить не более 400 кг. Поэтому, когда необходимо изготовить большое количество отливок, возникают простои, связанные с недостатком подготовленной формовочной смеси.

Согласно техническим требованиям влажность песка, из которого изготавливают формовочную смесь, должна быть равномерной. Но верхний слой песка, загруженного в короб, просушивается гораздо сильнее, чем нижний. Поэтому эти требования не выполняются.

Авторами предлагается технология и оборудование установки для сушки и просеивания песка. Применение сушильного барабана со встроенным ситом позволит сократить время просушки и просеивания песка и повысить его качество.

Предлагаемая разработка является актуальной и отвечает современным требованиям энерго- и ресурсосбережения, предъявляемым при выполнении ремонтных работ на предприятиях нефтехимии и нефтепереработки.

### **Выбор оптимального варианта установки**

Сушка представляет собой процесс удаления жидкости из твердых материалов путём её испарения. Сушка, в отличие от механических методов отделения жидкости от твердого тела, которые часто ей предшествуют, направлена также на улучшение качества материала (снижение его объёмной массы, повышение прочности) и, в связи с этим, на увеличение возможностей его использования. На практике наиболее часто применяется сушка влажных материалов нагретым воздухом или горячими дымовыми газами [4, 5, 6].

Сушка – один из самых энергоёмких процессов, поэтому в области техники сушки экономия энергетических ресурсов является актуальной проблемой. Создание высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов и установок позволяет значительно снизить энергоёмкость сушки [7].

Наиболее широко распространены в химической технологии конвективный и контактный методы сушки. При конвективной сушке тепло передается от теплоносителя к поверхности высушиваемого материала. Основным способом теплопередачи в этом случае является конвекция. В качестве теплоносителей используют воздух, инертные и дымовые газы. Образовавшиеся при испарении жидкости пары смешиваются с потоком газа и удаляются из системы. При контактной сушке тепло высушиваемому материалу передается через обогреваемую перегородку, соприкасающуюся с материалом. Здесь основной способ теплопередачи – теплопроводность. Испарённая влага уносится потоком газа. Несколько реже применяют радиационную сушку (инфракрасными лучами) и сушку электрическим током (высокой или промышленной частоты) [4, 5].

В оборудовании, предназначенном для сушки, слой твёрдых частиц может находиться в следующих формах: неподвижный слой (рис. 1а); движущийся слой (рис. 1б); взвешенный слой (рис. 1в); разбавленный слой (рис. 1г) [5].

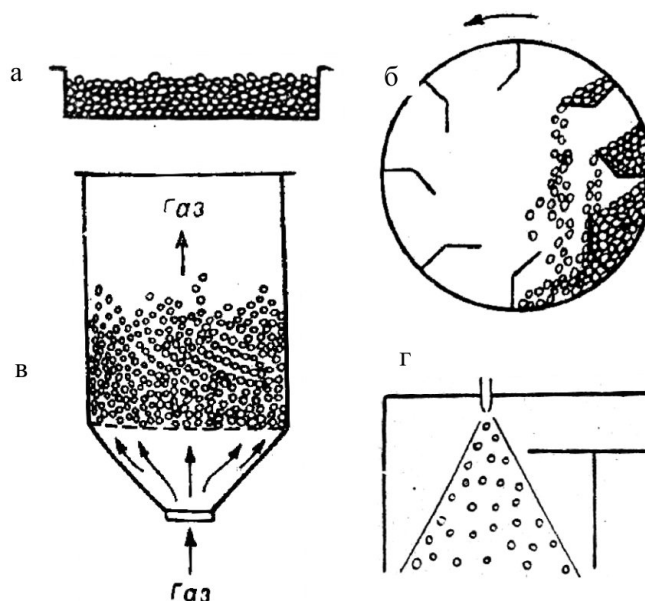


Рис. 1. Формы взаимодействия твёрдой и газовой фаз при сушке:

- а – неподвижный слой твёрдых частиц (в камерной сушилке);
- б – движущийся слой твёрдых частиц (во вращающейся сушилке с подъёмно-лопастной насадкой);
- в – взвешенный слой твёрдых частиц;
- г – твёрдая фаза в условиях предельного разбавления в верхней части распылительной сушилки

При небольшой потребности в свежих формовочных материалах применяют сушильные печи, представляющие собой боров, перекрытый плоскими чугунными плитами. В этом случае контакт газа и твёрдой фазы происходит в неподвижном слое на поверхности раздела.

Процессы с неподвижным слоем твёрдых частиц имеют некоторые преимущества перед процессами с непрерывным движением твёрдой фазы: очень малы потери твёрдого материала от истирания; не требуется вспомогательное механическое оборудование для циркуляции и разделения фаз. Расход условного топлива составляет 100...120 кг на 1 т песка [5, 8, 10].

К недостаткам, присущим этому методу сушки, можно отнести: периодичность действия; большие затраты ручного труда на загрузку и выгрузку материала; большие градиенты температур в слое твёрдых частиц вследствие относительно низких коэффициентов теплоотдачи.

При значительных потребностях в песке в современных литейных цехах применяют горизонтальные и вертикальные механические сушильные печи. Горизонтальное сушило (рис. 2) представляет собой барабан, имеющий ось с наклоном 3...6° к горизонту. Расход условного топлива составляет 50...100 кг на 1 т песка.

Оно состоит из топки 1, загрузочной воронки 2, барабана 6, механизма вращения печи, смонтированного на раме 10, опорных роликов 3, разгрузочной камеры 8 и вытяжной вентиляционной системы. Частота вращения барабана  $n = 2...10$  об/мин ( $0,03...0,15$  с<sup>-1</sup>). Механизм вращения барабана состоит из электродвигателя 9, редуктора 7, уравнивающей муфты 5, шестерни 11 и зубчатого колеса 4. Частоту вращения барабана устанавливают путём перестановки сменных шестерен. Осевое перемещение барабана ограничивается опорными роликами 3, имеющими реборды.

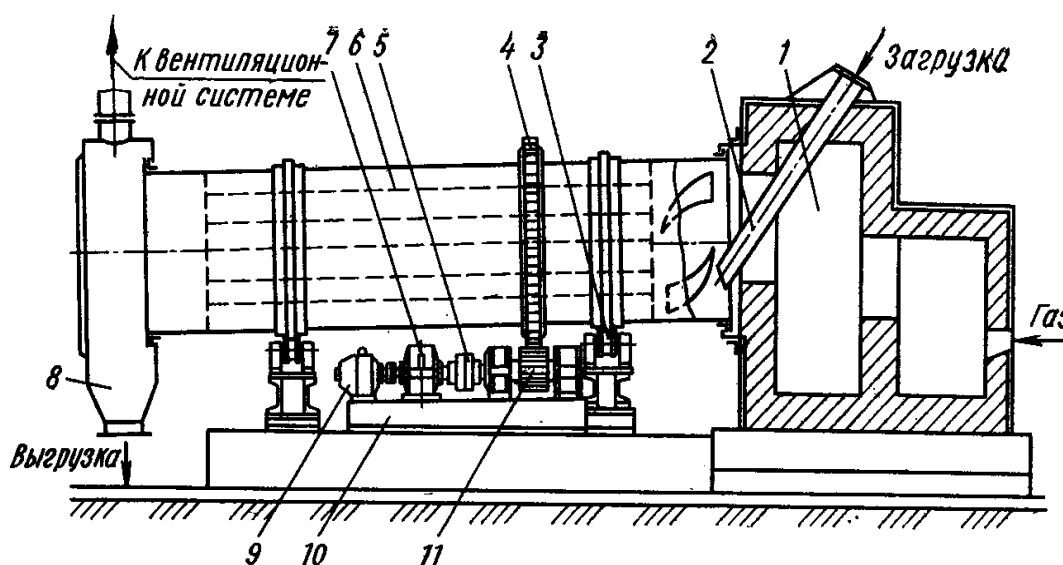


Рис. 2. Схема одноходового горизонтального сушила для песка

Барабанные сушила обеспечивают параллельное движение топочных газов и просушиваемого материала. В этом случае наиболее горячие газы соприкасаются с более влажным песком, и находящаяся в песке глинистая составляющая защищена от перегрева испаряемой влагой, чем обеспечивается высокое качество сухого песка.

Недостаток горизонтальных барабанных сушил – их большая длина. Однако, их можно делать двух- и трёхбарабанными, вставляя один барабан в другой и пропуская сушимый продукт последовательно через эти барабаны.

Трёхходовое барабанное сушило (рис. 3) состоит из топки 3, загрузочной воронки 1, трёхходового барабана 2, разгрузочного желоба 5 и механизма вращения 4 барабана. Благодаря такой конструкции путь перемещения материала при сушке в барабане в 3 раза больше его длины, а значит, одна и та же производительность достигается при меньших габаритных размерах. Потери тепла в трёхходовой сушилке снижаются на 75 % по сравнению с одноходовой за счет снижения температуры отходящего газа и уменьшения поверхности контакта барабана с окружающей средой [8, 9, 12].

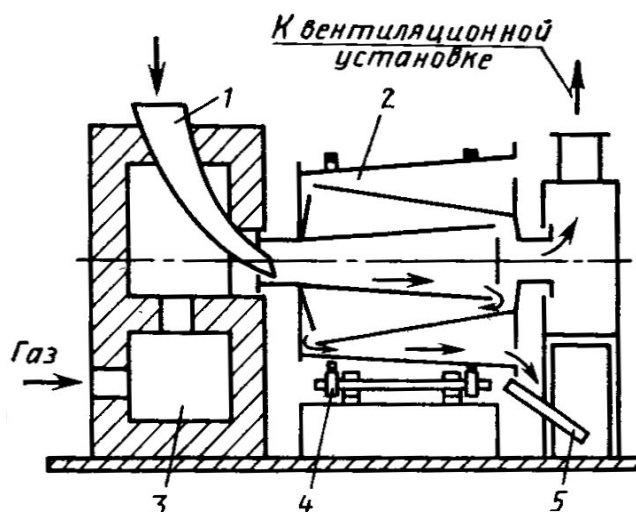


Рис. 3. Трёхходовое барабанное сушило

Вертикальные сушила для песка строят по принципу многоподовых печей. Песок в них пересыпается с вращающихся тарелок на неподвижные кольца, а с колец снова на тарелки и т. д. Пересыпание осуществляется с помощью скребков. Вертикальные сушила делают обычно с противотоком – топочные газы движутся навстречу песку. Расход условного топлива в таких сушилках составляет 40... 60 кг топлива на 1 т песка [8].

Установка для сушки песка в кипящем слое (рис. 4) представляет собой вертикальный барабан из трёх камер. В камере 8 сжигается газ, в камере 9 – топочные газы разбавляются холодным воздухом. Слой песка 2, лежащий на

решётке 3, продувается горячими топочными газами. В результате образуется кипящий слой песка. Сухие зерна песка «всплывают» кверху и через верх регулирующей заслонки 12 перетекают в желоб 11, а сырые частицы опускаются вниз к горячей решётке, к более горячим топочным газам. Установка работает непрерывно. Рядом с установкой для сушки монтируют установку для охлаждения песка.

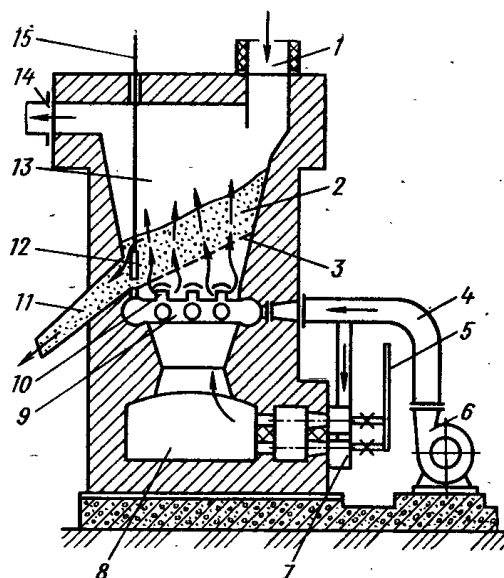


Рис. 4. Установка для сушки песка в кипящем слое:

- 1 – загрузочная воронка; 2 – слой песка; 3 – перфорированная решётка;
- 4 – нагнетающий воздухопровод; 5 – газопровод; 6 – дутьевой вентилятор;
- 7 – газовые двухпроводные горелки; 8 – камера сжигания; 9 – камера смешивания;
- 10 – фурмы; 11 – желоб; 12 – регулирующая заслонка; 13 – камера сушки;
- 14 – трубопровод отходящих газов; 15 – тяга регулирующей заслонки

Наличие большой поверхности контакта твёрдых частиц с газовой средой и интенсивное перемешивание частиц обуславливают эффективный теплообмен и массообмен между частицами и газовым потоком. Температуры во всём объёме слоя достаточно выровнены. Это позволяет эффективно использовать кипящий слой для сушки песка и для охлаждения его после сушки. В установках для сушки и охлаждения формовочного песка в кипящем слое расход условного топлива составляет около 10 кг на 1 т песка.

Однако такие сушилки имеют и недостатки: повышенный расход электроэнергии; невысокая интенсивность процесса при сушке тонкодисперсных продуктов; значительное истирание частиц материала и, как следствие, образование большого количества пыли [5, 8, 9, 10].

В некоторых литейных цехах используют установки для сушки песка в пневмопотоке (рис. 5). Сущность работы этих установок заключается в том, что в транспортный трубопровод 1 подаются горячие топочные газы из топки 2 и сырой песок через загрузочную воронку с дозатором 3. Во время движения по трубопро-

воду со скоростью 25...30 м/с в потоке горячих газов песок высыхает и осаждается в бункере 5 циклона 4. Отработанные и несколько охлаждённые газы, очистившись в фильтре 6, выбрасываются вентилятором 7 в атмосферу.

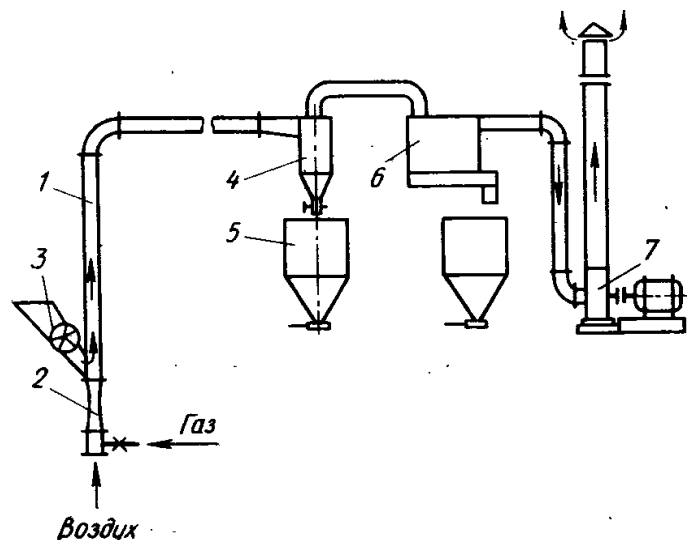


Рис. 5. Установка для сушки и охлаждения песка в пневмотоке

Расход энергии в пневматических сушилках значителен, причём он снижается с уменьшением размера частиц высушиваемого материала. Такие установки меньше распространены, чем установки для сушки песка в кипящем слое, вследствие значительного износа колен трубопроводов и трудностей очистки запылённых газов [9, 10].

Рассмотрим особенности конструкции барабанных сушилок. Основной материал для изготовления барабанов сушилок, загрузочных и разгрузочных камер – углеродистые стали. В технически обоснованных случаях допускается изготовление барабанов, а также загрузочных и разгрузочных камер частично или полностью из жаростойких сталей специальных марок [7].

Для предотвращения утечки сушильного агента из барабана на обоих его торцах устанавливаются различные уплотнительные устройства: сальниковые, лабиринтные, фрикционные, гибкие и т. д. [5]

Внутри корпуса барабанной сушилки закрепляются различные насадки, предназначенные для перемешивания высушиваемого материала. Форма насадки должна соответствовать свойствам высушиваемого материала. Если свойства материала изменяются в процессе сушки, то форму насадки принимают разной по длине барабана. Наиболее распространённые конструкции насадок барабанов представлены на рис. 6 [11].

Спиральные лопасти (рис. 6а) обычно применяют на первых метрах загрузочного конца аппарата для того, чтобы сообщить ускорение потоку, выходящему из питающего желоба или конвейера, и предотвратить утечку газа через уплотне-

ние. Для крупнокусковых и склонных к налипанию материалов применяется лопастная система (рис. 6б). Для сыпучих материалов – распределительная система объёмного типа (рис. 6з), а также – распределительная насадка (рис. 7). Для пылеобразующих материалов применяют перевалочную систему с закрытыми ячейками (рис. 6д).

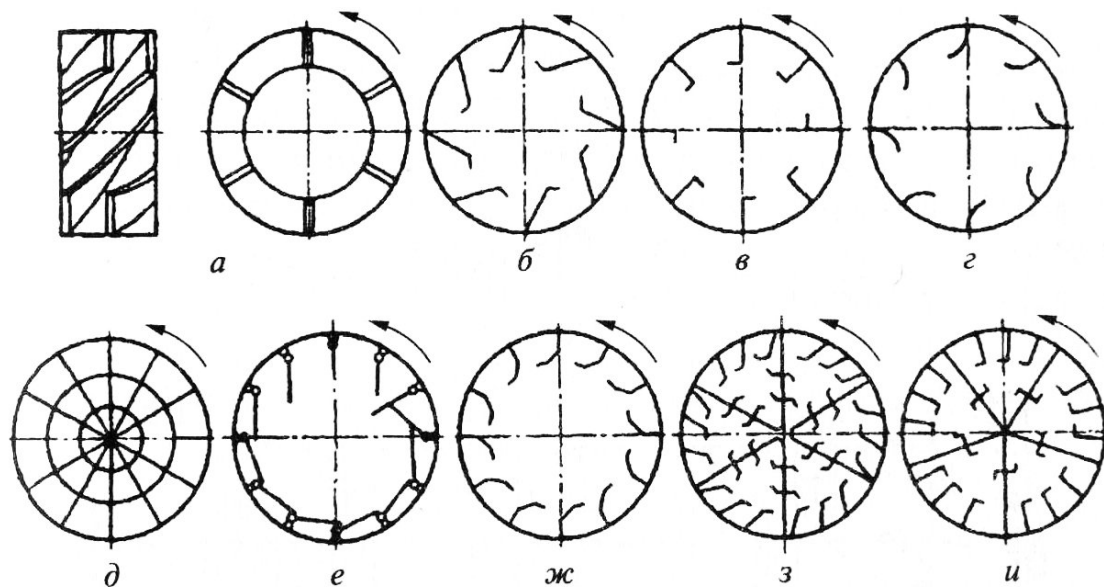


Рис. 6. Схемы насадок барабанных сушилок:

а – приёмно-распределительная винтовая; б, в, г, ж – подъёмно-лопастные; д, з, и – секторные; е – с прямыми самоочищающимися лопастями

Одной из основных характеристик насадок является степень заполнения материалом барабана. Минимальная степень заполнения у барабанов подъёмно-лопастной насадкой она составляет 12 %. Для распределительной насадки имеет значение равное 20,6 %. Распределительная насадка с закрытыми ячейками (рис. 6з, би) обеспечивает степень заполнения барабана до 27,5 % [6, 10].

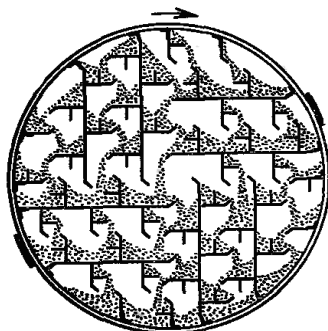


Рис. 7. Распределительная насадка



Проведенный обзор оборудования для сушки и просеивания сыпучих материалов позволил выбрать оптимальный вариант конструкции установки подготовки формовочного песка, описание которой приведено ниже.

### Описание установки и ее характеристики

Авторами разработана установка для подготовки (сушки и просеивания) формовочного песка, технологическая схема которой представлена на рис. 8, а внешний вид показан на рис. 9.

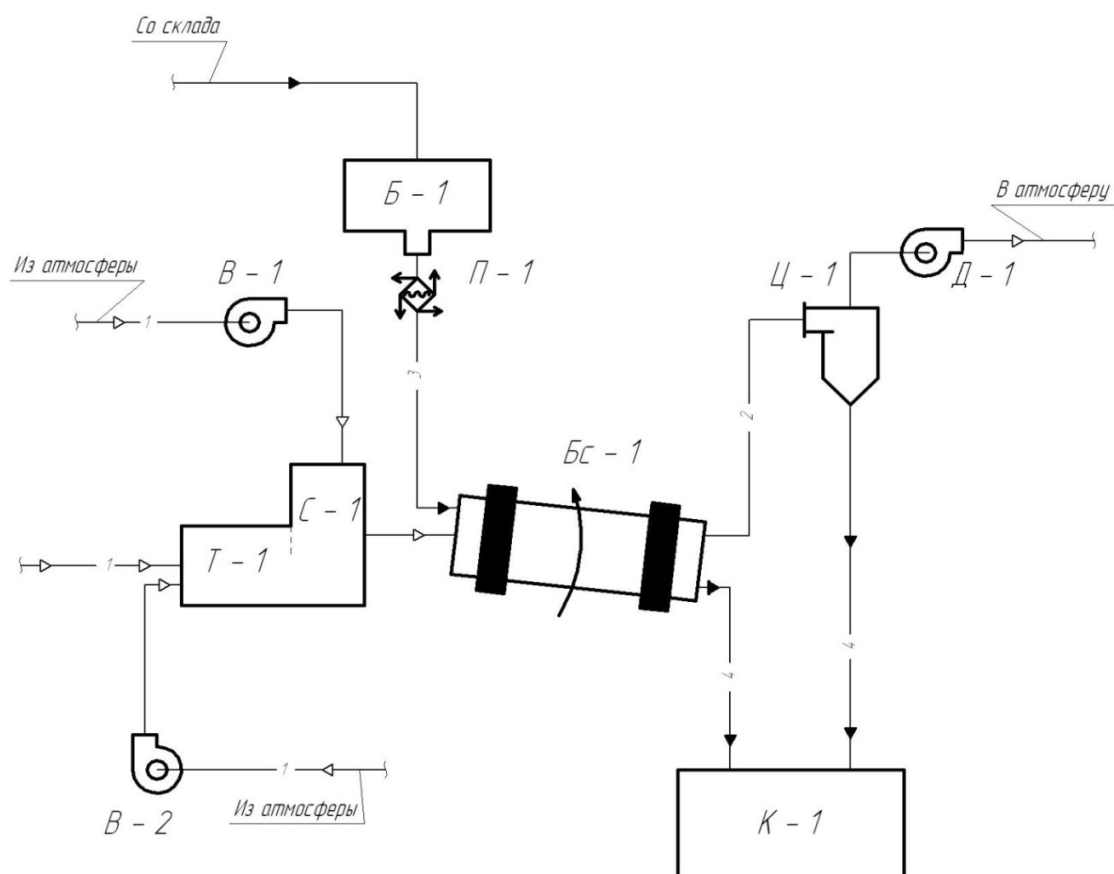


Рис. 8. Технологическая схема установки для подготовки формовочного песка

Влажный материал из бункера Б-1 с помощью питателя П-1 подается во вращающийся сушильный барабан БС-1, который приводится во вращение электродвигателем (на схеме не показан). Параллельно материалу в сушилку подается сушильный агент, образующийся от сгорания топлива в топке Т-1 и смешения топочных газов с воздухом в смешивательной камере С-1. Воздух в топку и смешивательную камеру подается вентиляторами В-1,2. Благодаря наклону и вращению барабана высушиваемый материал передвигается по нему, пересыпаясь и перераспределяясь по насадке. Высушенный материал выводится с противоположного конца барабана и поступает в короб К-1.

Отработанный сушильный агент перед выбросом в атмосферу очищается от пыли в циклоне Ц-1. Транспортировка сушильного агента через установку осуществляется с помощью дымососа Д-1. При этом установка находится под небольшим разрежением, что исключает утечку сушильного агента через неплотности установки.

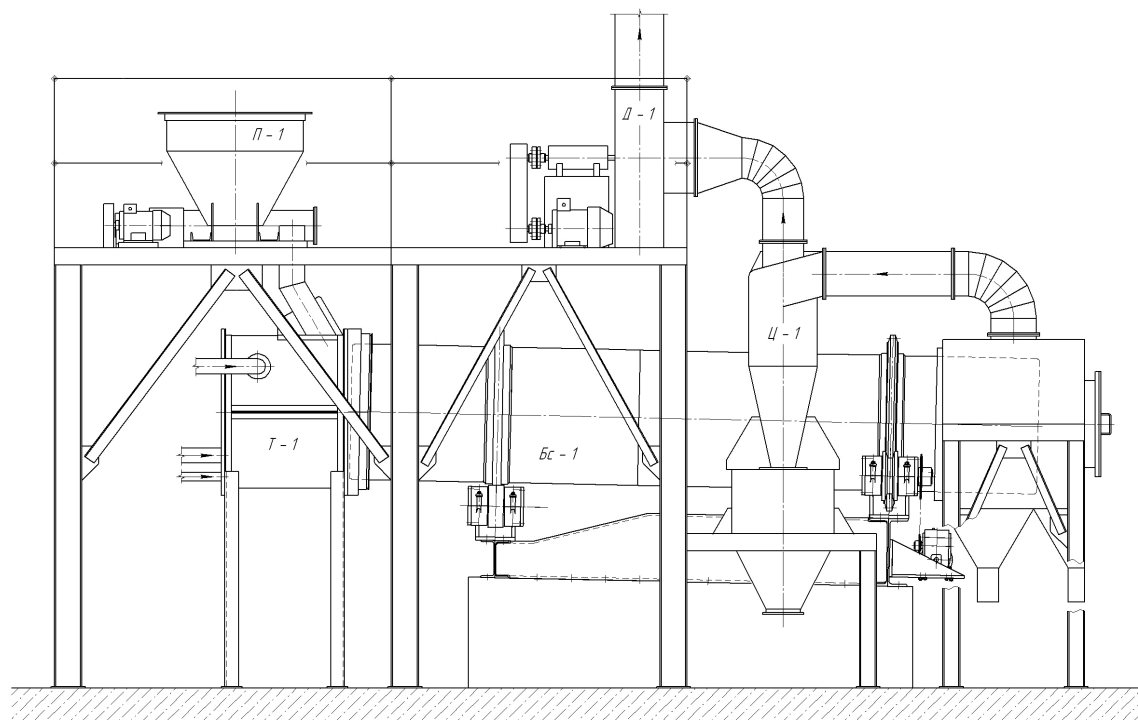


Рис. 9. Внешний вид установки для подготовки формовочного песка

Схема сушильного барабана цилиндрической формы секционного типа представлена на рис. 10. В каждую секцию устанавливаются соответствующие насадки (рис. 11). На барабане установлены два кольцевых бандажа, опирающиеся на ролики (рис. 12) клинчатой фрикционной передачи, приводящей во вращение сушильный барабан через цепную передачу от электродвигателя.

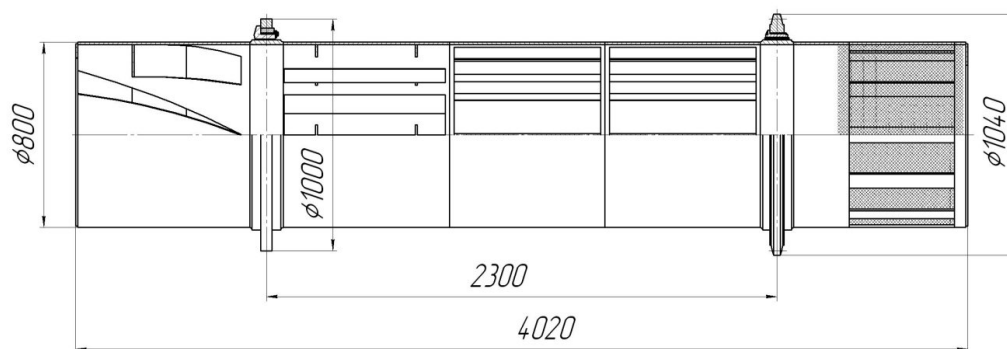
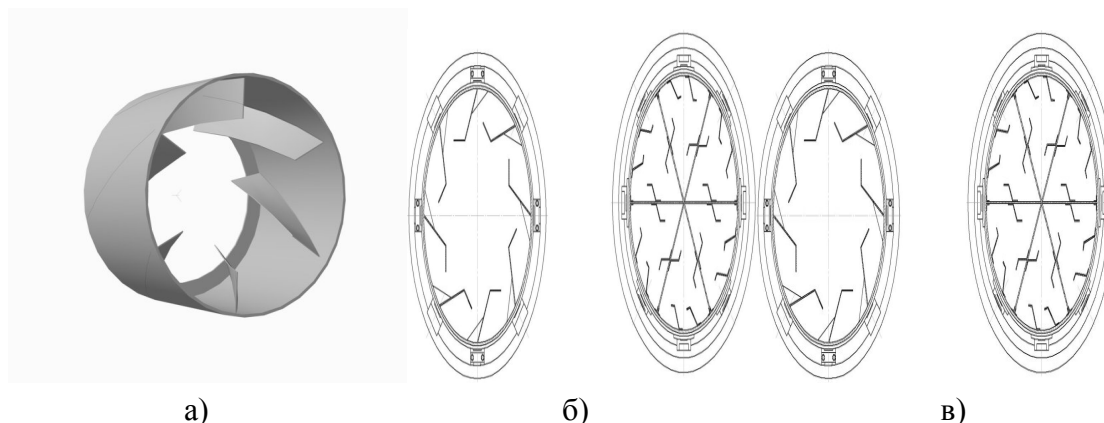


Рис. 10. Сушильный барабан установки



а)

б)

в)

Рис. 11. Насадки сушильного барабана:

а – винтовая приёмно-распределительная; б – секторная;  
в – распределительная с закрытыми ячейками

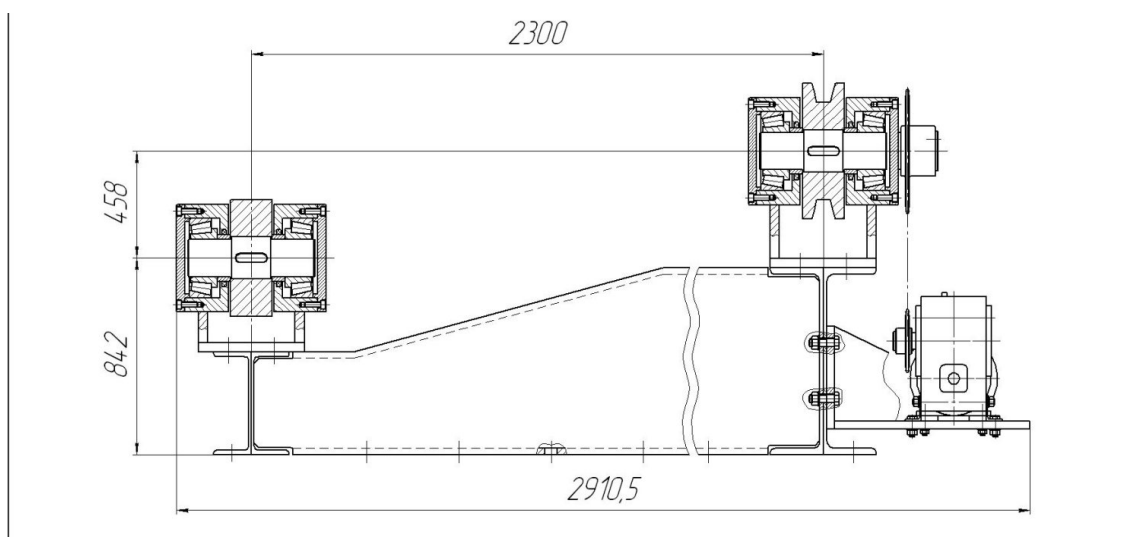


Рис. 12. Роликоопора сушильного барабана

Авторами выполнен технологический расчет сушильной установки, в котором определены параметры топочных газов, подаваемых в сушилку, расход сушильного агента, а так же основные размеры сушильного барабана. Проведены механические расчеты узлов и деталей установки. Подобрано вспомогательное оборудование: циклон НИИОГАЗ ЦН-15У, циклонная топка, дымосос ДН 6,3 и шнековый питатель ПШ-2/100В.

Основные характеристики установки:

- производительность по высушенному песку – 600 кг/ч;
- начальная влажность песка – 10 %;
- конечная влажность песка – 0,5 %;
- насыпная плотность песка – 1200 кг/м<sup>3</sup>;
- температура песка на входе в сушилку – 20 °С;

- температура газов на входе в сушилку – 300 °С;
- температура газов на выходе из сушилки – 100 °С;
- средний размер частиц песка – 0,2 мм;
- коэффициент заполнения барабана – 20 %;
- температура окружающего воздуха – 20 °С;
- относительная влажность воздуха – 75 %;
- удельные потери тепла в окружающую среду на 1 кг испаренной влаги – 22,6 кДж/кг.

### **Оценка эффективности установки**

В настоящее время в существующих установках расход природного газа на сушку составляет 0,16 м<sup>3</sup>/кг. При внедрении проектируемой установки расход газа составит 0,01 м<sup>3</sup>/кг. Такая экономия топлива достигается за счет того, что неподвижный слой высушиваемого материала заменяется движущимся.

Расчетная себестоимость установки составит 775 894 рубля. Стоимость подобных установок на отечественном рынке составляет около 1 000 000 рублей.

### **Выводы**

Разработанная конструкция установки для подготовки формовочного песка позволит:

- существенно сократить время просушки и просеивания песка;
- значительно повысить качественные показатели песка, соответствующие требованиям приготовления формовочных смесей литейных производств.

### **Литература**

1. Матвеев И.В., Исагулов А.З. Формовочное и стержневое оборудование литейных цехов. Караганда: КарГТУ, 2004. 215 с.
2. Горюхин А.С., Деменов О.Б., Сусенков А.Г. Проектирование литейных цехов. Уфа: УГАТУ, 2006. 100 с.
3. Титов Н.Д. Технология литейного производства. М.: Машиностроение, 1968. 388 с.
4. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств. М.: Машиностроение, 1975. 456 с.
5. Перри Дж. Справочник инженера-химика. Л.: Химия, 1969. 640 с.
6. Скобло А.И., Трегубова И.А., Молоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1982. 584 с.

7. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 320 с.
8. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1977. 510 с.
9. Матвеев И.В., Тарский В.Л. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
10. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1995. 368 с.
11. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчёты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки. М.: «Альфа-М» 2008. 720 с.
12. Чуюнов Г.Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды. М.: Недра, 1987. 260 с.

## DEVELOPMENT OF THE PROCESSING UNIT FOR MOULDING SAND PREPARATION

R.R. Gaziev<sup>1</sup>, D.I. Yangirov, E.A. Balyanov  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Salavat Branch, Salavat, Russia  
e-mail: <sup>1</sup> gaziev.grr@yandex.ru

**Abstract.** *The main results of development of the processing unit for moulding sand preparation for casting production are given in this article. Technological and mechanical calculations of elements of the processing unit are developed, suitable standard equipment is taken. Unit efficiency is determined.*

**Keywords:** *drum drier, sand, drying, extension, band, idler, chain gear*

### References

1. Matveenکو I.V., Isagulov A.Z. Formovochnoe i sterzhnevoe oborudovanie liteinykh tsekhov (Molding and core machines of casting shops). Karaganda, KarGTU, 2004. 215 p.
2. Goryukhin A.S., Demenok O.B., Susenkov A.G. Proektirovanie liteinykh tsekhov (Design of foundries). Ufa, UGATU, 2006. 100 p.
3. Titov N.D. Tekhnologiya liteinogo proizvodstva (Foundry technology). Moscow, Mashinostroenie, 1968. 388 p.
4. Chernobyl'skii I.I. Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv (Machines and equipment of chemical plants). Moscow, Mashinostroenie, 1975. 456 p.
5. Perri Dzh. Spravochnik inzhenera-khimiķa. Leningrad, Khimiya, 1969. 640 p. (Translated from: Perry's chemical engineers' handbook. 4 ed. McGraw-Hill, 1963).
6. Skoblo A.I., Tregubova I.A., Molokanov Yu.K. Protsessy i apparaty neftepererabatyvayushchei neftekhimicheskoi promyshlennosti (Processes and apparatuses in the oil refining and petrochemical industry). Moscow, Khimiya, 1982. 584 p.
7. Sazhin B.S. Osnovy tekhniki sushki (Principles of drying technology). Moscow, Khimiya, 1984. 320 p.
8. Aksenov P.N. Oborudovanie liteinykh tsekhov (Equipment of foundries). Moscow, Mashinostroenie, 1977. 510 p.
9. Matveenکو I.V., Tarskii V.L. Oborudovanie liteinykh tsekhov (Equipment of foundries). Moscow, Mashinostroenie, 1985. 400 p.
10. Dytnerskii Yu.I. Protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii (Processes and apparatuses of chemical technology). Moscow, Khimiya, 1995. 368 p.
11. Ponikarov I.I., Ponikarov S.I., Rachkovskii S.V. Raschet mashin i apparatov khimicheskikh proizvodstv i neftegazopererabotki (Design of machines and apparatuses for chemical and oil-gas refining industries). Moscow, Al'fa-M, 2008. 720 p.
12. Chuyanov G.G. Obezvozhivanie, pyleulavlivanie i okhrana okruzhayushchei sredy (Dehydration, dust collection and environmental protection). Moscow, Nedra, 1987. 260 p.