

ТОПКА ДЛЯ СЖИГАНИЯ НЕСОРТИРОВАННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ВЫСОКОЙ ВЛАЖНОСТИ

А. В. КОСТРУШИН

Старший преподаватель

(Архангельский лесотехнический институт)

В лесной промышленности при заготовке и переработке древесины получается большое количество отходов, которые с каждым годом в возрастающей степени используются как вторичное технологическое сырье для целого ряда производств (целлюлоза, гидролиз, древесно-волокнистые плиты и др.). Но отходы лесозаготовительного процесса, которые составляют от 15 до 25% объема производства, особенно ветви и сучья, ввиду их малой транспортабельности в настоящее время почти не используются. Наиболее доступным в данный момент является использование их как топлива для стационарных электростанций лесозаготовительных предприятий.

С развитием комплексной механизации и применением электрифицированного транспорта для вывозки древесины следует ожидать увеличения мощности этих электростанций, так как сооружение электропередач большой протяженности при малых размерах потребления экономически не оправдывается, а получение электроэнергии от ближайших энергосистем затруднительно по условиям географического размещения предприятий. Приобретает существенное значение вопрос об использовании лесосечных отходов в качестве топлива.

Независимо от типа паровой электростанции (станции с газовым циклом здесь не рассматриваются) в первую очередь должен быть решен вопрос о топочном устройстве, позволяющем рационально и с максимальной простотой сжигать несортированное древесное топливо — отходы лесозаготовок. Отходы могут быть в виде опилок, дробленки, различных по величине кусков и специально приготовленного швырка. Все эти виды отходов выдаются производством одновременно, поэтому желательно, чтобы топочное устройство в наибольшей мере удовлетворяло сжиганию несортированного топлива. Влажность этого топлива колеблется в пределах 40—60%.

При сжигании древесины применяются различные методы. В большинстве случаев древесное топливо сжигается в слое, так как вихревой метод сжигания этого топлива начал применяться лишь недавно.

Применяемые в настоящее время для сжигания древесины топочные устройства можно классифицировать следующим образом:

1. Топки со свободным залеганием слоя — это топки с горизонтальной колосниковой решеткой, полумеханические и механические. К полумеханическим топкам относятся шахтная с наклонным или вертикальным зеркалом горения, кучевая с наклонной ступенчатой решеткой, топка с наклонной ступенчатой решеткой и наклонным потолочным сводом, топка проф. А. К. Сильниченко и топка канд. техн. наук. Е. Ф. Ратникова для совместного сжигания дров и дробленого топлива.

2. Топки с зажатым слоем, к которым относятся: топка ЦКТ системы канд. техн. наук В. В. Померанцева, топка ЦНИИМЭ — Гипролестранса и топка ЦНИИМЭ.

3. Вихревые топки: топка ЦКТИ системы А. А. Шершнева, топка системы Е. В. Колобанова и опытная конструкция циклонной топки ЦНИИМЭ.

В перечисленных топках сжигаются строго определенные виды топлива. Наиболее универсальным типом топочного устройства являются полумеханические топки, которые позволяют сжигать все виды древесного топлива, но в отдельности. Совместное сжигание кускового и дробленого топлива в различных частях топочного устройства с применением двойной загрузки осуществлено в топках ЦНИИМЭ — Гипролестранса, ЦНИИМЭ, Е. Ф. Ратникова и в циклонной топке ЦНИИМЭ.

С целью выяснения принципиальной возможности сжигания несортированного древесного топлива высокой влажности автором были проведены экспериментальные исследования на полупромышленном топочном стенде в паросиловой лаборатории ЦНИИМЭ*.

Стенд состоял из топливной камеры постоянного прямоугольного сечения по всей высоте, заканчивающейся внизу колосниковой решеткой. Топливная камера кирпичной зажимающей решеткой отделялась от камеры догорания, переходящей в радиационную камеру. На вершине стенда размещен пластинчатый воздухоподогреватель, позволяющий подогревать воздух до 170—230°С. Воздух подводился под колосниковую решетку во фронт топливной камеры и в камеру догорания. Испытания стенда производились при различных режимах подвода воздуха, изменяющейся степени экранирования топочной камеры ($\varphi = 0,341$, $\varphi = 0,197$, $\varphi = 0,054$) и при толщине слоя топлива 450, 600, 750 и 900 мм. Топливом являлась смесь, состоящая из швырка размером 500 × 120 150 мм и опилок; в некоторых опытах еще добавлялась дробленка и кора.

В результате проведенных исследований были получены технологические показатели, характеризующие работу топочного стенда при сжигании различного по крупности древесного топлива. Приводим пределы изменения величин, характеризующих топочный процесс в большинстве проведенных опытов:

Влажность топлива в %	40—60
Соотношение швырка и опилок в смеси	1,6—0,4
Температура воздуха в °С	30—230
Толщина слоя в мм	450—900
Температура в камере догорания в °С	900—1250
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	1,1—1,6
Содержание СО в уходящих газах в %	0,1—0,5
Потеря тепла от химической неполноты сгорания в %	0,7—1,4

* Пользуясь случаем, автор приносит свою благодарность директору ЦНИИМЭ К. И. Вороницыну, старшим научным сотрудникам В. А. Гацкевичу, Г. К. Леванову и всему коллективу паросиловой лаборатории за предоставление оборудования лаборатории и помощь в проведении экспериментальной работы.

Потеря тепла от механической неполноты сгорания в %	0,6—1,0
К. п. д. топки в %	0,95—0,97
Тепловое напряжение зеркала горения в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$	$(0,8—1,5) 10^6$
Тепловое напряжение объема топочной камеры в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{час}}$	$(0,3—0,6) 10^6$
Тепловое напряжение поперечного сечения топочной камеры в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$	$(0,4—1,2) 10^6$
Тепловое напряжение радиационной поверхности, размещенной в топочной камере, в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$	$(30—250) 10^3$
Аэродинамическое сопротивление слоя топлива в мм вод. ст.	2—10

Несмотря на резкое расхождение во фракционном составе топлива, кратерного горения не наблюдалось даже при минимальной толщине слоя $b = 450$ мм. Это объясняется наличием равномерного подпора вышележащего топлива. Благодаря постоянному поперечному сечению топливной камеры по высоте топливо опускалось без зависания и в течение всей серии опытов (52 режима) ни разу не потребовалось вмешательства в работу слоя. Вынос мелких фракций топлива (опилок) через зажимающую решетку имел место, особенно он усиливался при фронтном подводе воздуха.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность сжигания несортированного древесного топлива высокой влажности в простейшем топочном устройстве с высокими технологическими показателями.

На основании результатов собственных экспериментальных исследований и опубликованных исследований по горению углерода * и натурального топлива **, автором была предложена конструкция топливного устройства для сжигания несортированного древесного топлива высокой влажности (авторское свидетельство № 108366 — «Двухкамерная топка для сжигания древесных отходов и другого мелкого топлива»).

В основе принципиальной схемы топки лежит двухступенчатый метод сжигания твердого топлива. В соответствии с этим топочное устройство (рис. 1) состоит из топливно-газификационной камеры 1 постоянного прямоугольного сечения по всей высоте и циклонной камеры догорания 2, разделенных кирпичной зажимающей решеткой 3, которая не доходит до перекрытия топки и заканчивается газовым окном 4.

Предложенная конструкция зажимающей решетки позволяет создать более устойчивые в отношении выноса мелочи участки слоя, расположенные против окон, так как ступенчатая форма последних способствует образованию сводов из мелкого топлива с опорной поверхностью по всему периметру окна.

Для сжигания топлива различной крупности в топливно-газификационной камере в направлении оси топки можно изменять толщину слоя от 450 до 1500 мм, что значительно расширяет пределы мощности топочного устройства. Верхний предел толщины слоя применяется при сжигании крупного неколотого швырка.

Топливно-газификационная камера заканчивается внизу ступенчатой колосниковой решеткой, имеющей наклон к горизонту около 20° . При сжигании кускового топлива с примесью дробленки и малым содержанием опилок

* Горение углерода. Сборник статей под редакцией чл.-корр. Академии наук А. С. Предводителя, 1949.

** Исследование процессов горения натурального топлива. Сборник под редакцией проф. Г. Ф. Кнорре, 1948.

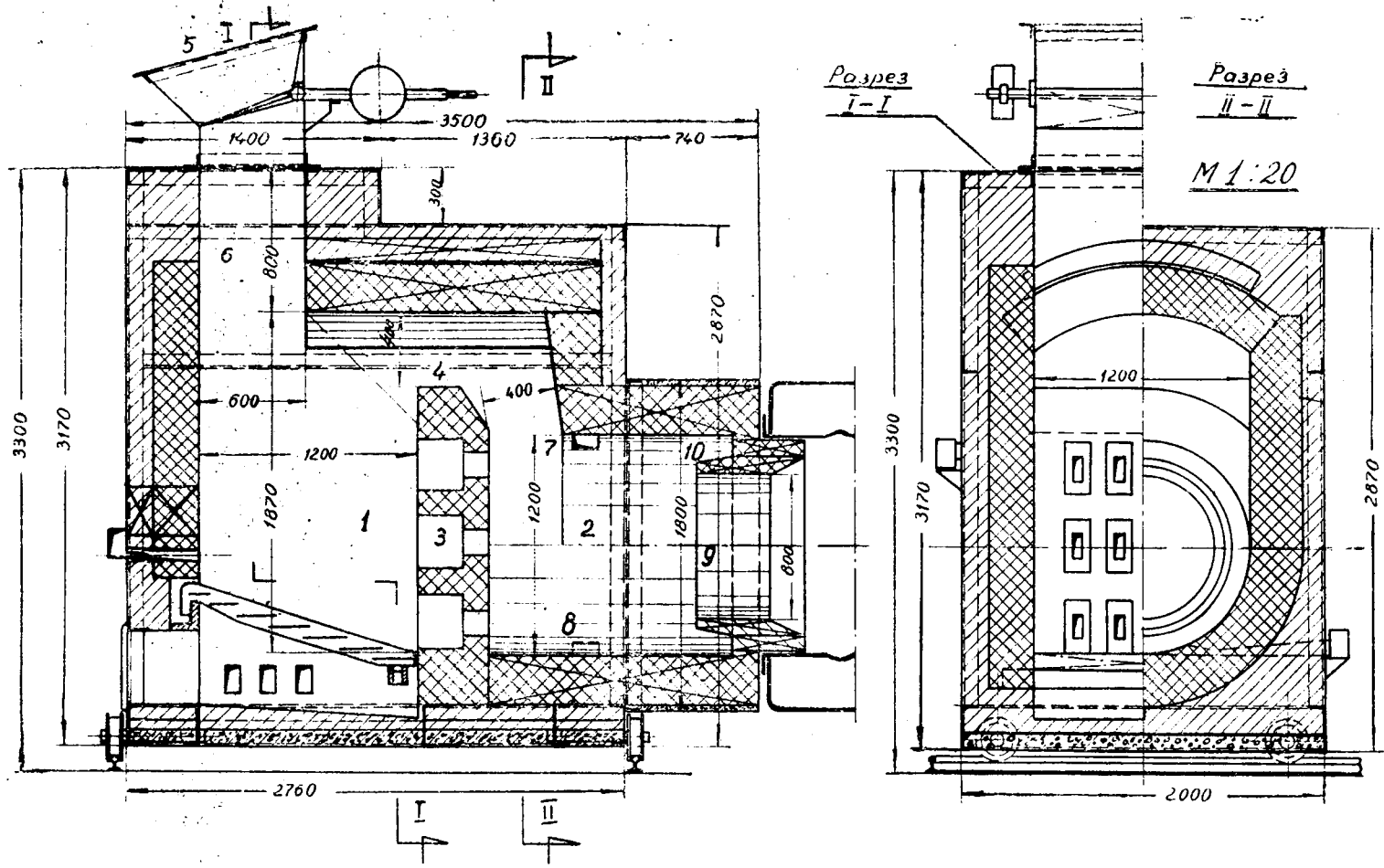


Рис. 1. Двухкамерная топка для сжигания древесных отходов и другого мелкого топлива системы инж. А. В. Кострушина (авторское свидетельство № 106386). На чертеже дана топка для локомотива СК-350. Для придания плотности стенки топки покрываются стальным листом толщиной 2-3 мм.

решетка может быть набрана из балочных колосников с живым сечением 20—25%, и тогда она выполняется горизонтальной. Ожидать значительного провала мелких фракций не приходится, так как они сгорают до достижения решетки.

Ширина топливной камеры выполняется на 100—150 мм больше стандартной длины швырка для того, чтобы удобнее было формировать слой при поперечной загрузке. Сыпучее топливо поступает одновременно с кусковым через загрузочную воронку *б*, которая имеет специальную конструкцию, дающую возможность загружать разнородные по размерам отходы. В верхней части топливной камеры во всю ширину топki расположена загрузочная шахта *б* размером в направлении оси ее около 600 мм и высотой 800—1200 мм. Наличие шахты позволяет аккумулировать топливо для непрерывного питания слоя при периодическом поступлении кусковых отходов в топку и исключает проникновение воздуха в период загрузки.

Топливо, выходящее из шахты, заполняет камеру и в передней части располагается под углом естественного откоса, образуя свободную поверхность. Мелкие фракции топлива, залегающие на этой поверхности, не подвергаются значительному динамическому воздействию дутьевого воздуха, так как указанная поверхность удалена от колосниковой решетки на 1,5—2 м. Такое положение исключает вынос мелких частиц топлива со свободной поверхности слоя и обеспечивает беспрепятственное распространение потока горячих газов в верхнюю часть топливной камеры, откуда они затем уходят через газовое окно в топочное пространство.

Поднимающийся поток газов, идущий навстречу топливу, способствует его термическому преобразованию и создает условия для неограниченного воспламенения. Затрата тепла на все подготовительные стадии процесса горения с избытком компенсируется тепловыделением коксовой зоны. Поэтому схема со встречными потоками в наибольшей степени удовлетворяет условиям сжигания древесного топлива высокой влажности. Движение газов вверх устанавливается благодаря самотяге в топливной камере и разрежению в газовом окне.

При подводе воздуха во фронт топливной камеры возникает вторая, вспомогательная, схема смесеобразования — схема поперечных потоков. Такой подвод воздуха приводит к увеличению протяженности зоны горения и способствует воспламенению и горению летучих, так как последние в зоне их выделения при встречном потоке (первая схема смесеобразования) не обеспечиваются достаточным количеством воздуха. Сгорающая, летучие повышают температуру и активизируют топочный процесс. Таким образом, в нижней, зажатой части слоя возникают благоприятные условия для создания высокотемпературной зоны, значительно повышающей роль восстановительных реакций. При этом резко возрастает выход выносимых через зажимающую решетку в камеру догорания продуктов газификации.

При вертикальном слое достаточной толщины влияние разнообразного по крупности топлива не сказывается на процессе горения. Возникновение кратерного горения при этом условии невозможно, так как местные прогары не могут распространиться на всю толщину слоя, а появление их в том или ином участке быстро ликвидируется значительным подпором вышележащего топлива.

Фронтальной подвод воздуха вызывает смещение основного потока газовой смеси в направлении зажимающей решетки и газового окна. Аэродинамическая устойчивость слоя топлива в отношении поперечного потока воздуха (фронтальное дутье) позволяет достигнуть **высо-**

кой форсировки горения. Увеличение уноса при этом не имеет значения, так как он подвергается эффективному дожиганию в циклонной камере.

Циклонная камера догорания 2 располагается по оси жаровой трубы locomобильного котла и по отношению к топливной камере несколько снижена. Такая компоновка дает возможность получить пересечение потоков, выходящих из газового окна и зажимающей решетки, и создать около последней турбулентную зону. Интенсивное перемешивание компонентов в сильно турбулированном потоке дает однородную горючую смесь и обеспечивает высокую полноту сгорания. Это подтвердила работа экспериментального топочного стенда, где такая турбулентная зона, выполненная при менее благоприятных условиях, дала вполне удовлетворительные результаты в отношении уменьшения потери от химической неполноты сгорания при умеренном температурном уровне процесса.

Кирпичная зажимающая решетка обеспечивает не только аэродинамическую устойчивость слоя, но и положительно сказывается на дожигании продуктов газификации. Это подтвердилось опытами, проведенными на топочном стенде: продукты газификации, выходящие из верхней части слоя, направлялись по узкому каналу параллельно зажимающей решетке, пересекаясь с основным потоком, выдаваемым через окна решетки. Нет сомнения, что раскаленная кирпичная решетка способствует вступлению новых порций смеси в активный процесс горения и обеспечивает стабилизацию процесса на высоком температурном уровне. Резкое уменьшение СО в продуктах горения в случае применения развитых огнеупорных насадок подтверждается также данными по беспламенному горению (проф. М. Б. Равич).

При двухступенчатом сжигании твердого топлива слой выдает продукты неполного сгорания с различным содержанием горючих газов. Как уже отмечалось, при пересечении двух потоков в турбулентной зоне подготавливается более однородная горючая смесь, которая в виде пламенного потока поступает в камеру догорания. Последней придана цилиндрическая форма, как в наибольшей степени удовлетворяющая аэродинамическим условиям.

Здесь поток закручивается вторичным воздухом, подаваемым в двух противоположных точках 7 и 8, расположенных на периметре циклонной камеры. Соединение последней с жаровой трубой котла производится зажатой выходной горловиной 9, которая с внутренней поверхностью циклона образует кольцевое пространство — пазуху 10. Относительно крупные частицы топлива, выносимые из слоя, закручиваются потоком воздуха и подвергаются интенсивной газификации, которая заканчивается в пазухе циклона. Высокий температурный уровень циклонной камеры усиливает этот процесс — восстановительные реакции протекают с большей скоростью.

Поток воздуха, подаваемый в передней части циклонной камеры по касательной к внутренней поверхности с начальной скоростью порядка 150—200 м/сек, сильно закручиваясь, движется вперед двумя отдельными концентрическими слоями. Разделяет его топливный газ, выходящий из пазухи и движущийся навстречу воздушному потоку. Наружный слой воздушного потока принимает участие в процессе газификации, а внутренний используется как вторичный воздух для дожигания продуктов газификации, выходящих из пазухи циклона.

Мельчайшие частицы топлива, выносимые из слоя, движутся вместе с внутренним потоком воздуха и сгорают по чисто факельному процессу. В центре циклонной камеры образуется направленный от выходной горловины обратный вихрь (вихревой шнур), характерный для всех закру-

ченных потоков. Роль его сводится к усилению смесеобразования топливного газа с вторичным воздухом и обеспечению устойчивой зоны воспламенения образующейся горючей смеси.

Изложенное выше позволяет считать, что частицы топлива, выносимые из слоя, подвергаются полному сжиганию в циклонной камере. Горизонтальные циклоны с указанной структурой потоков успешно справляются с сжиганием всего топлива, вводимого в циклон. Интенсивное перемешивание продуктов газификации слоя со вторичным воздухом в сильно закрученных потоках циклонной камеры и высокий температурный уровень процесса обуславливают полное сгорание.

Таким образом, в завершающей ступени топочного устройства создаются исключительно благоприятные условия для уменьшения потерь от химической и механической неполноты сгорания до исчезающих значений.

Может случиться, что при незначительной величине уноса нарушится газификационный процесс в пазухе и несколько изменится аэродинамическая структура потоков в циклонной камере. Но это не скажется на качественной стороне работы циклона, как камеры догорания. А кроме того, можно искусственно повысить унос. Для этого, в случае сжигания смеси топлива с малым содержанием опилок, необходимо увеличить проходные сечения окон зажимающей решетки, что не вносит осложнений в загрузочное устройство топки. Отдельный ввод опилок в циклонную камеру нежелателен, так как он потребует дополнительного питателя со сложной регулировкой, двойной загрузки топлива, увеличения габаритов топки и осложнит систему топливоподачи.

Представленная на рис. 1 топка предназначается для локомотива СК-350. Топка незаглубленная, она имеет несколько меньшие габариты, чем другие типы топок одинаковой мощности, предназначенные для сжигания древесного топлива.

Основные размеры топки характеризуются теплонапряжениями:

$$а) \text{ решетки } \frac{Q}{R} = 1,33 \cdot 10^6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}};$$

б) то же с учетом фронтального зеркала горения

$$\frac{Q}{F} = 1,11 \cdot 10^6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}};$$

в) объема камеры догорания без жаровой трубы

$$\frac{Q}{V} = 1,19 \cdot 10^6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{час}};$$

г) то же с учетом жаровой трубы, объем которой, как правило, учитывается

$$\frac{Q}{V} = 0,47 \cdot 10^6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{час}}.$$

Приведенные значения тепловых напряжений для топки локомотива СК-350 указывают на наличие некоторого запаса в основных размерах. Благодаря значительному объему топливно-газификационной камеры топочное устройство нечувствительно к колебаниям нагрузки и регулирование процесса горения может производиться по воздуху. Такое положение обеспечивает более спокойную эксплуатацию.

Топка может иметь облегченную обмуровку, выполняться специализированными заводами и в смонтированном виде поставляться потребителям.

Для предлагаемого топочного устройства необходим воздух двух давлений, а для повышения интенсификации процесса сжигания влаж-

ного топлива желательнее применение горячего дутья с температурой 150—200° С. С этой целью автором разработана одновентиляторная схема дутьевой установки на давление, соответствующее вторичному воздуху, — около 180—250 мм вод. столба.

Для приготовления горячего воздуха достаточно иметь воздухоподогреватель с поверхностью нагрева, обеспечивающей подогрев 60% воздуха, потребного для топочного процесса. Затрата металла на воздухоподогреватель сокращается на 30%. Температура подогреваемого воздуха при установке воздухоподогревателя за локомотивным агрегатом возможна до 270° С. Около 15—20% подогретого воздуха используется для острого дутья в циклонной камере. Остальные 45—40% расходуются в качестве рабочего вещества для эжектирования воздуха из котельной с получением конечного давления смеси около 40 мм вод. ст. Из полученной смеси воздуха под решетку подается около 70—75% и во фронт топки 30—25%.

Произведенные расчеты показывают, что при отношении расхода рабочего воздуха к эжектируемому в пределах 0,427—1,0 возможен подогрев первичного воздуха до 100—150° С. Такие параметры первичного и вторичного воздуха вполне гарантируют экономичную работу топочного устройства.

При установке воздухоподогревателя аэродинамическое сопротивление газового тракта агрегата возрастает на 15—20 мм вод. ст. Для осуществления тяги на станциях, проектируемых с воздухоподогревателями, рекомендуется устанавливать дымососы, что обуславливает расход электроэнергии на тягу около 1—1,5% выработки станции.

На реконструируемых локомотивных электростанциях возможно применение эжекционной тяги. В этом случае расход пара на тягу составляет 1% паропроизводительности котла. При работе топочного устройства на холодном воздухе для подачи его под решетку и во фронт топливной камеры применяется низконапорный вентилятор давлением 50 мм вод. ст. Для закручивания потока в циклонной камере используется паровоздушное дутье, вызывающее расход пара около 1% производительности котла. Тяга сохраняется естественная.

ВЫВОДЫ

1. Установлена принципиальная возможность сжигания несортированного древесного топлива высокой влажности.

2. Топочное устройство с двухступенчатым процессом горения, состоящее из топливно-газификационной камеры и циклонной камеры догорания, может быть рекомендовано для широкого внедрения в энергетику лесозаготовительной промышленности.

3. Для подогрева воздуха предлагается одновентиляторная схема воздухоподогревательно-дутьевой установки, позволяющая получить первичный воздух с параметрами $H = 40$ мм вод. ст., $t = 100 - 150^\circ \text{С}$ и вторичный воздух с давлением $H = 180 - 250$ мм вод. ст. и $t = 270^\circ \text{С}$.