



## TEMPERATURE CONTROL IN FLUE GASES DRYING SHREDDERS OF RAW MATERIALS

Ion HEBESHESKU, Yuri MOLOTKOV  
Institute of Agricultural Technics "Mecagro"

**Abstract** - According of the method of regulation temperature of the flue gases by dilution with atmospheric air. Was effectuated the description of the two versions of the construction of the flue gas regulators temperature. Was identified their strengths and weaknesses point of view of automation control processes. Practical examples analyzed regulatory response to the disturbing temperature effects. Proposed the structure and automated system formulates conclusions control of the regulatory work. Formulated conclusions, summarizing the results of the work performed.

**Keywords** - Flue gases, air, temperature, automatic control

## REGLAREA TEMPERATURII GAZELOR DE CUPTOR LA USCAREA MATERIEI PRIME VEGETALE MĂRUNȚITE

Ion HĂBĂȘĂECU, Iuri MOLOTCOV  
Institutul de tehnică agricolă „Mecagro”

**Rezumat:** Este investigată metoda de reglare a temperaturii gazelor de cuptor prin diluarea cu aer din atmosferă. Este adusă descrierea a două variante pentru construcția reglatoarelor de temperatură a gazelor de cuptor. Sunt determinate avantajele și dezavantajele sale din punct de vedere a automatizării procesului de reglare. Pe exemple concrete a fost analizată reacția în urma excitațiilor acțiunilor de temperatură. Este propusă schema structurală a sistemului de dirijare automată a funcționării reglatorului. Sunt formulate concluziile, care generalizează rezultatele lucrărilor efectuate.

**Cuvinte-cheie:** Gaze de cuptor, aer, temperatură, dirijare automatizată.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ СУШКЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

И.Ф.Хэбэшеску, Ю.А.Молотков  
Институт сельскохозяйственной техники «Мекагро»

**Реферат** – Рассмотрен способ регулирования температуры топочных газов путем их разбавления атмосферным воздухом. Приведено описание двух вариантов конструкции регуляторов температуры топочных газов. Определены их достоинства и недостатки с точки зрения автоматизации процессов регулирования. На практических примерах проанализирована реакция регуляторов на возмущающие температурные воздействия. Предложена структурная схема системы автоматического управления работой регулятора. Сформулированы выводы, обобщающие результаты выполненной работы.

**Ключевые слова** – Топочные газы, воздух, температура, автоматическое регулирование

При изготовлении пеллет или топливных брикетов из отходов сельскохозяйственного производства (ветки садовых деревьев, солома, опилки и пр.), помимо измельчения, требуется кондиционировать сырье по относительной влажности - довести этот показатель до оптимального уровня – 8-12%, то есть, в подавляющем большинстве случаев, высушить [1,2]. Близкие значения влажности удастся получить и при естественной солнечной сушке, если погодные условия способствуют этому, а продолжительность процесса не имеет значения. Однако, чаще возникает необходимость в ускоренной переработке сырья. В этом случае приходится воспользоваться одной из технологий искусственной сушки, предусматривающей активную вентиляцию с подводом искусственно полученного тепла к

высушиваемому продукту. Поскольку полученное таким образом сырье не предполагается использовать в каких-либо кормовых смесях, для его сушки с успехом могут быть использованы топочные (дымовые) газы, обладающие высоким энергетическим потенциалом. Теплогенераторы такого типа отличаются высоким КПД (до 0,9)\* и сравнительно дешевы. Для их работы можно использовать те же отходы сельхозпроизводства или произведенные из них пеллеты или брикеты (евродрова).

На рис.1 приведена схема типового технологического процесса аэродинамической сушки

\* В некоторых источниках КПД теплогенератора на топочных газах характеризуют уровнем до 0,95 в отличие от теплообменных агрегатов, где КПД не превышает 0,6 (чаще 0,25...0,35).

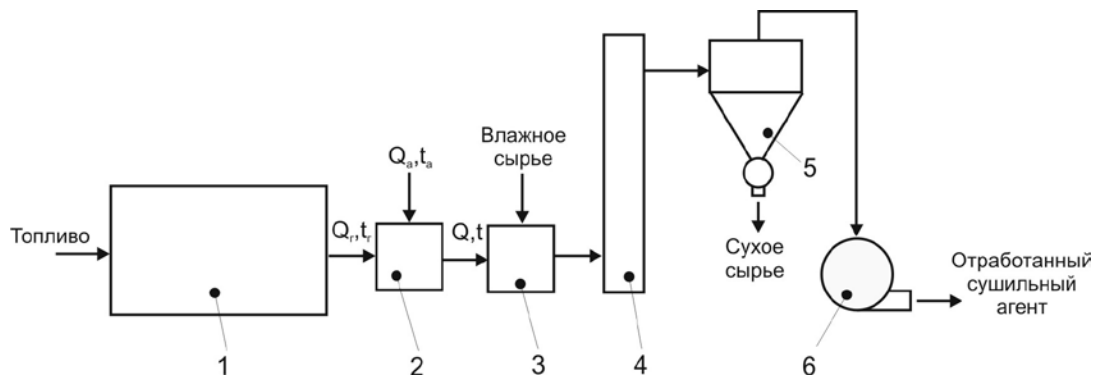


Рис.1. Схема технологического процесса аэродинамической сушки измельченного растительного сырья с использованием в качестве сушильного агента топочных газов

1 – теплогенератор (топка); 2 – регулятор температуры топочных газов; 3 – смеситель; 4 – аэродинамическая сушилка; 5 – циклон; 6 – дымососный вентилятор

измельченного растительного сырья (сельскохозяйственных отходов) с использованием в качестве сушильного агента топочных газов. Здесь топочные газы вырабатывает теплогенератор 1, в котором в качестве топлива могут использоваться дрова, уголь, пеллеты и пр. Основная проблема использования топочных газов в качестве сушильного агента – их высокая температура. Для ее снижения топочные газы разбавляют атмосферным воздухом [3-5] при помощи регулятора температуры 2. При этом температура  $t$  полученной газовой смеси становится равной:

$$t = \frac{Q_g t_g + Q_a t_a}{Q_g + Q_a} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где:  $Q_g$  – количество топочных газов в смеси, кг;

$t_g$  – температура топочных газов,  $^\circ\text{C}$ ;

$Q_a$  – количество атмосферного воздуха в смеси, кг;

$t_a$  – температура атмосферного воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Полученный таким образом сушильный агент объединяют с потоком влажного (исходного) сырья в смесителе 3 и подают в аэродинамическую (пневматическую) сушилку\*\* 4, где за счет конвективного теплообмена удаляется влага из высушиваемого материала. Сырье с заданной конечной влажностью (8...12%), смешанное с насыщенным влагой сушильным агентом, проходя через циклон 5, отделяется от последнего и передается на последующую переработку. Влажный и остывший сушильный агент дымососным вентилятором 6 выбрасывается в атмосферу. При этом, дымососный вентилятор 6 помимо транспортирования сырья, обеспечивает необходимую тягу для сгорания топлива в теплогенераторе 1.

Материалы настоящей статьи касаются лишь одного из устройств, рассмотренной технологической схемы – регулятора температуры топочных газов

\*\* Аэродинамическая (пневматическая) сушилка – сушилка непрерывного действия, где сушильный агент является одновременно и транспортирующим средством. При этом процесс дополнительно интенсифицируется и за счет взаимных соударений частиц сырья в движущемся потоке [8-10].

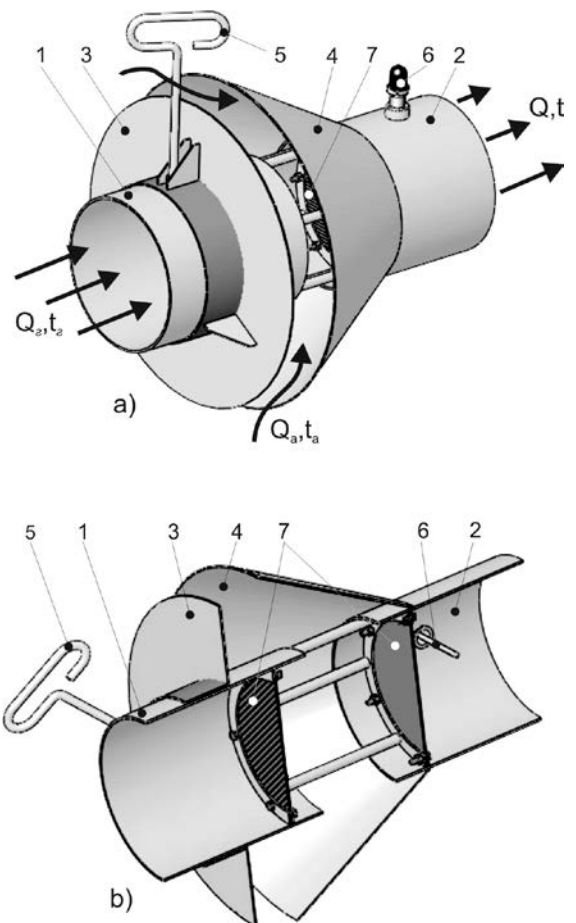


Рис.2 . Регулятор температуры топочных газов:

a) общий вид; b) продольный разрез

1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – тарелка; 4 – воздухозаборник; 5 – рукоятка-фиксатор; 6 – датчик температуры; 7 – искрогасительная сетка

(поз.2 на рис.1). Нами разработано и испытано два варианта этого устройства.

Упрощенный вариант регулятора (рис.2) состоит из соосных входного 1 и выходного 2 патрубков, между которыми имеется воздушный зазор. Входной патрубок 1 подключают к теплогенератору, а выходной 2 – к смесителю (поз.3 на рис.1). При этом на входном патрубке 1 размещена тарелка 3, имеющая возможность перемещаться вдоль его оси и фиксироваться в любом выбранном положении рукояткой-фиксатором 5, а на выходном патрубке 2 неподвижно закреплен воздухозаборник 4, образующий совместно с тарелкой 3 зазор с регулируемым сечением. В области зазора между патрубками 1 и 2 на их торцах смонтированы искрогасительные сетки 7, предотвращающие прохождение случайных искр от теплогенератора к смесителю. Для контроля температуры газовой смеси на выходе устройства в выходном патрубке 2 размещен датчик 6 электронного термометра [6].

Принцип работы предложенного регулятора весьма прост. Дымососный вентилятор 6 (см.рис.1) создает интенсивный газовый поток от теплогенератора через все последовательно соединенные агрегаты. При этом топочные газы теплогенератора с параметрами  $Q_c, t_c$ , проходя в зазоре между входным 1 и выходным 2 патрубками регулятора температуры (см.рис.2), смешиваются с атмосферным воздухом ( $Q_a, t_a$ ), всасываемым через зазор между тарелкой 3 и воздухозаборником 4. Изменяя величину этого зазора, удается в широких пределах менять соотношение количества топочных газов  $Q_c$  и атмосферного воздуха  $Q_a$  в полученной газовой смеси и тем самым регулировать ее температуру  $t$  (см.(1)), контролируя значение  $t$  при помощи датчика 6.

Соотношение массовых расходов  $Q_c/Q_a$  для данного регулятора можно выразить формулой:

$$\frac{Q_{\bar{a}}}{Q_a} = \frac{\rho_{\bar{a}} v_{\bar{a}} S_{\bar{a}}}{\rho_a v_a S_a} = \frac{\rho_{\bar{a}} v_{\bar{a}} \frac{\pi d^2}{4}}{\rho_a v_a \pi D \Delta}, \quad (2)$$

где:  $\rho_c, \rho_a$  – плотности, соответственно, топочных газов и атмосферного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v_c, v_a$  – скорости, соответственно, потока топочных газов и атмосферного воздуха, м/с;

$S_c$  – площадь сечения канала подачи топочных газов (площадь сечения входного патрубка 1 диаметром  $d$ ), м<sup>2</sup>;

$S_a$  – площадь сечения канала подачи атмосферного воздуха (площадь сечения кольцевого зазора, образованного между тарелкой 3 и воздухозаборником 4.  $S_a = \pi D \Delta$ , где  $D$  – диаметр тарелки 3,  $\Delta$  – ширина кольцевого зазора), м<sup>2</sup>.

Как известно, плотность газа обратно пропорциональна его температуре [11]. А скорость движения газа в воздуховоде при неизменном дебите дымососного вентилятора прямо пропорциональна температуре [7]. Поэтому для нашего регулятора справедлива следующая пропорция:

$$\frac{v_{\bar{a}}}{v_a} = \frac{\rho_a}{\rho_{\bar{a}}}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получаем:

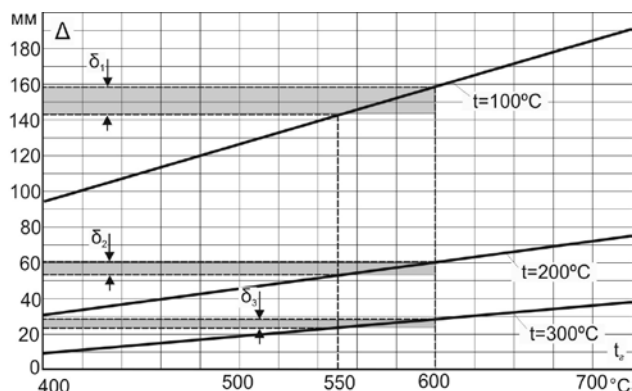


Рис.3. Зависимость ширины зазора  $\Delta$  между тарелкой и воздухозаборником от температуры топочных газов  $t_c$  при различных заданных температурах сушки  $t$

$$\frac{Q_{\bar{a}}}{Q_a} = \frac{\rho_{\bar{a}} v_{\bar{a}} S_{\bar{a}}}{\rho_a v_a S_a} = \frac{S_{\bar{a}}}{S_a} = \frac{d^2}{4D\Delta}, \quad (4)$$

то есть, соотношение массовых расходов  $Q_c/Q_a$  топочных газов и атмосферного воздуха для данного регулятора не зависит от их температур, а определяется только соотношением площадей сечений каналов их подачи  $S_c/S_a$ .

Из (4) следует:

$$Q_a = \frac{Q_{\bar{a}} D \Delta}{d^2}. \quad (5)$$

Разделив числитель и знаменатель (1) на  $Q_a$ , выраженное формулой (5), получаем:

$$t = \frac{Q_{\bar{a}} t_{\bar{a}} + Q_a t_a}{Q_{\bar{a}} + Q_a} = \frac{d^2 t_{\bar{a}} + t_a}{4D\Delta} \text{ при } \Delta \neq 0. \quad (6)$$

Разрешив (6) относительно  $\Delta$ , получаем формулу для расчета ширины зазора между тарелкой 3 и воздухозаборником 4 (см.рис.2):

$$\Delta = \frac{d^2 (t_{\bar{a}} - t)}{4D(t - t_a)}. \quad (7)$$

Для примера на рис.3 графически показаны зависимости  $\Delta = f(t_c)$ , описываемые (7), при  $t_a = \text{const} = 10^\circ\text{C}$  и различных заданных температурах сушки  $t = 100; 200$  и  $300^\circ\text{C}$ , охватывающих практически все применяемые в сельском хозяйстве технологии. Геометрические параметры  $d = 0,2$  м и  $D = 0,35$  м соответствуют реально изготовленному и испытанному нами регулятору.

Графики рис.3 дают возможность наглядно и количественно проследить за положением тарелки 3 регулятора относительно воздухозаборника 4 при изменениях  $t$  и  $t_c$ . Пусть, например, температура топочных газов  $t_c$  в установившемся режиме работы теплогенератора равна  $600^\circ\text{C}$ , а заданная температура сушки  $t = 100^\circ\text{C}$ . Расчетный зазор  $\Delta_1$  в этом случае составит 159 мм (рассчитан по (7)). Предположим, что по каким-либо причинам, температура топочных газов упала до  $550^\circ\text{C}$  (открылась дверца топки, произошла

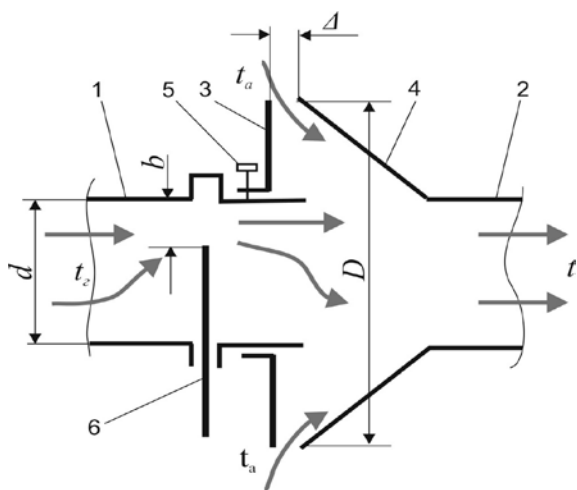


Рис.4. Схема усовершенствованного регулятора температуры топочных газов

1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – тарелка; 4 – воздухозаборник; 5 – рукоятка-фиксатор; 6 – шиберная заслонка.

очередная загрузка топлива и др.). Чтобы заданная температура сушки  $t=100^{\circ}\text{C}$  не изменилась, необходимо уменьшить содержание холодного атмосферного воздуха в газовой смеси, уменьшив зазор  $\Delta$  до  $\Delta_2=143$  мм, то есть на величину  $\delta_1=\Delta_1-\Delta_2=159-143=16$  мм (см.рис.3). Если же заданная температура сушки  $t$  будет равна 200 или  $300^{\circ}\text{C}$ , то при таком же скачке температуры топочных газов  $t_г$ , величина  $\delta$  существенно уменьшится. Так, при  $t=200^{\circ}\text{C}$  она составит  $\delta_2\approx 7$  мм, а при  $t=300^{\circ}\text{C}$  -  $\delta_3\approx 5$  мм. При таких значениях  $\delta$  и сравнительно больших габаритах регулятора возникают сложности с ручным позиционированием тарелки 3 относительно воздухозаборника 4. Действительно, при  $t=300^{\circ}\text{C}$  ошибка в положении тарелки на 2..3 мм приводит к ошибке в поддержании температуры сушки на 20...30 $^{\circ}\text{C}$ . В реальных условиях ошибки позиционирования оказываются гораздо бо'льшими, что может привести к недопустимым отклонениям от  $t$ . Кардинальным выходом из создавшегося положения является автоматизация процесса поддержания заданной температуры путем автоматического изменения положения тарелки 3 в зависимости от температуры готовой газовой смеси. Структура такой системы управления широко распространена и ее проектирование не представляет каких-либо затруднений, однако сложности возникают при конструировании исполнительного механизма, перемещающего достаточно громоздкую тарелку с высокой точностью позиционирования. Конечно, подобные затруднения вполне разрешимы, но стоимость реализации таких решений может оказаться чрезмерно высокой.

Рассмотрим несколько иную конструкцию регулятора температуры. Его схема показана на рис.4. Здесь дополнительно введен еще один орган управления – шиберная заслонка 6, смонтированная в разрыве входного патрубка 1. За счет этого, температуру  $t$  на выходе устройства можно

регулировать двумя элементами: подвижной тарелкой 3 и заслонкой 6, изменяя проходные сечения подачи, соответственно, атмосферного воздуха с температурой  $t_a$  и топочных газов с температурой  $t_г$ . Очевидно, что в данной конструкции регулятора, по сравнению с предыдущим вариантом, существенно расширен диапазон температур на выходе. Так, при полном закрытии шиберной заслонки 6 температура на выходе устройства будет равна температуре атмосферного воздуха  $t_a$ , а при полностью открытой заслонке 6 и нулевом зазоре между тарелкой 3 и воздухозаборником 4 – температура на выходе будет равна температуре топочных газов  $t_г$ .

Алгоритм управления вторым вариантом регулятора температуры существенно отличается от приемов эксплуатации регулятора, описанного выше. Он состоит в следующем. При установившейся температуре топочных газов  $t_г$  шиберную заслонку 6 устанавливают в среднее положение:  $b=d/2$  (см.рис.4), а положение тарелки 3 относительно воздухозаборника 4 подбирают таким образом, чтобы температура на выходе устройства  $t$  стала равной или близкой к заданной. В дальнейшем, при возникновении изменений температуры  $t_г$ , регулирование  $t$  выполняют только за счет перемещения заслонки 6. Целесообразность таких действий требует пояснений.

Для исключения громоздких формул, описывающих изменение площади круглого проходного сечения входного патрубка при перемещении шиберной заслонки, будем считать, что входной патрубок имеет квадратное сечение со стороной  $a = \frac{d}{2}\sqrt{\pi}$ , то есть такой квадрат оказывается по площади равновелик кругу диаметром  $d$  (см.рис.5.)

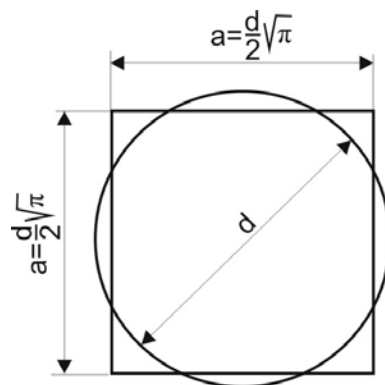


Рис.5 –Построение квадрата равновеликого по площади площади сечения входного патрубка регулятора температуры

Если такое квадратное сечение перекрывать прямоугольной заслонкой, то высота образовавшегося окна будет постоянной и равной  $a$ , а ширина  $b \leq a$  будет переменной. При этом площадь окна составит:

$$S_a = a \cdot b = \frac{d}{2}\sqrt{\pi} \cdot b. \quad (9)$$

Подставляя в формулу 4 новое значение площади входного патрубка  $S_2$ , получаем:

$$\frac{Q_{\bar{a}}}{Q_a} = \frac{S_{\bar{a}}}{S_a} = \frac{\frac{d}{2}\sqrt{\pi} \cdot b}{\pi D \Delta} = \frac{db}{2D\Delta\sqrt{\pi}}. \quad (10)$$

Из (10) следует:

$$Q_a = \frac{2Q_{\bar{a}}D\Delta\sqrt{\pi}}{db}. \quad (11)$$

Разделив числитель и знаменатель (1) на новое значение  $Q_a$ , выраженное формулой (11), получаем:

$$t = \frac{Q_{\bar{a}}t_{\bar{a}} + Q_a t_a}{Q_{\bar{a}} + Q_a} = \frac{\frac{dbt_{\bar{a}}}{2D\Delta\sqrt{\pi}} + t_a}{\frac{db}{2D\Delta\sqrt{\pi}} + 1} \text{ при } \Delta \neq 0. \quad (12)$$

Выше говорилось, что при запуске регулятора шиберную заслонку устанавливают в среднее положение, то есть придают  $b$  значение  $b = \frac{a}{2} = \frac{d}{4}\sqrt{\pi}$ . Это необходимо для того, чтобы смещением заслонки можно было компенсировать как повышение, так и понижение температуры топочных газов. При этом устанавливают такое значение зазора  $\Delta$  между тарелкой и воздухозаборником, при котором значение  $t$  соответствовало бы заданной величине. Подставив  $b = \frac{d}{4}\sqrt{\pi}$  в (12), разрешим его относительно  $\Delta$ :

$$\Delta_c = \frac{d^2(t_{\text{доп.}} - t)}{8D(t - t_a)} \text{ при } t > t_a. \quad (13)$$

где индекс «с» при  $\Delta$  означает, что полученное значение условно постоянное, то есть оно постоянно при установившейся температуре топочных газов  $t_{\text{гсм}}$ , заданной температуре  $t$  и сложившейся температуре атмосферного воздуха  $t_a$ .

Теперь разрешим (12) относительно  $b$  при найденном по (13) значении  $\Delta_c$ :

$$b = \frac{2D\Delta_c\sqrt{\pi}(t - t_a)}{d(t_{\bar{a}} - t)} = \frac{d}{4}\sqrt{\pi} \frac{(t_{\text{доп.}} - t)}{(t_{\bar{a}} - t)} \text{ при } t_c > t. \quad (14)$$

Уравнения (13) и (14) взаимосвязаны и «работают» совместно, поэтому их следует рассматривать в виде системы:

$$\begin{cases} \Delta_c = \frac{d^2(t_{\text{доп.}} - t)}{8D(t - t_a)}; \\ b = \frac{d}{4}\sqrt{\pi} \frac{(t_{\text{доп.}} - t)}{(t_{\bar{a}} - t)} \end{cases} \quad (15)$$

При этом, первое уравнение системы (15) определяет условно постоянное положение тарелки (зазор между тарелкой и воздухозаборником), а второе – текущее положение шиберной заслонки в зависимости от фактической температуры топочных газов  $t_c$ .

Теперь можно проанализировать процессы, происходящие во втором варианте регулятора при скачке температуры топочных газов. Для большей

наглядности, рассуждения будем вести, используя численные значения переменных величин, соответствующих реальным условиям эксплуатации устройства. Основные геометрические параметры газовых каналов возьмем из примера описания работы предыдущего варианта регулятора, то есть: пусть:  $D=0,35$  м,  $d = 0,2$  м. В этом случае сторона  $a$  эквивалентного входного патрубка квадратного сечения будет равной  $a = \frac{d}{2}\sqrt{\pi} = 0,177$  м.

Температуру атмосферного воздуха, как и прежде, примем равной  $t_a = 10^\circ\text{C}$ . По формулам 15 рассчитаем значения зазора между тарелкой и воздухозаборником  $\Delta_c$  для  $t_{\text{гсм}} = 400; 500; 600$  и  $700^\circ\text{C}$  и заданных температур сушки  $t=100; 200$  и  $300^\circ\text{C}$ , а также положение шиберной заслонки  $b$ , поддерживающей заданную температуру сушки, при различных отклонениях от установившейся температуры топочных газов  $t_c = t_{\text{гсм}} \pm \delta_t^\circ\text{C}$ . Графически результаты вычислений показаны на рис.6.

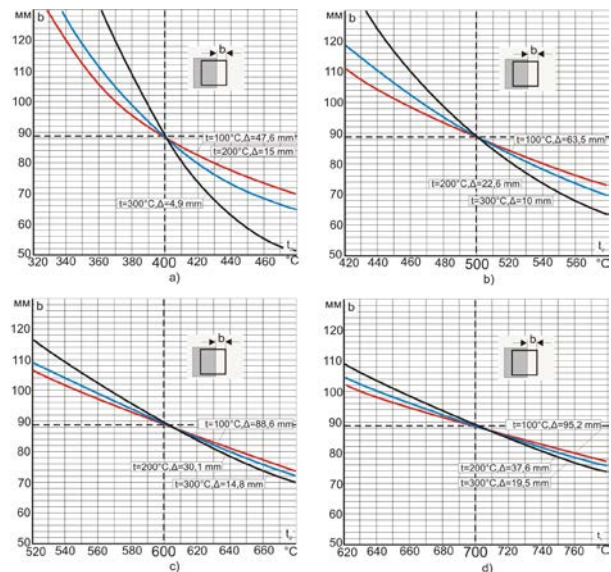


Рис.6. Зависимости положения шиберной заслонки  $b$  от температуры топочных газов  $t_c$  и  $t$

Здесь в прямоугольниках указаны:  $t$  – заданная температура сушки и вычисленное по первому уравнению системы (15) значение  $\Delta_c$ . Горизонтальная пунктирная линия на графиках соответствует среднему положению шиберной заслонки (заслонка перекрывает половину сечения входного патрубка регулятора температуры). Кривые графиков характеризуют текущее положение  $b$  заслонки при изменениях фактической температуры топочных газов:  $b=f(t_c)$  при  $t, \Delta_c = \text{const}$ .

Из графиков (рис.6) следует, что с повышением установившейся температуры топочных газов  $t_{\text{гсм}}$  и с уменьшением заданной температуры сушки  $t$ , для компенсации одинаковых скачков температуры требуется меньшее перемещение шиберной заслонки  $b$ . Эту же закономерность подтверждает табл.1, где приведены рассчитанные с использованием (15) отклонения шиберной заслонки от среднего положения при скачкообразном снижении

температуры топочных газов на  $50^{\circ}\text{C}$  от установившегося значения  $t_{уст}$ .

При описании первого варианта регулятора, нами приводился пример расчета необходимого перемещения тарелки при резком уменьшении температуры топочных газов от установившегося значения –  $600^{\circ}\text{C}$  до  $550^{\circ}\text{C}$ . Было показано, что в зависимости от заданной температуры процесса ( $100$ ,  $200$  и  $300^{\circ}\text{C}$ ) это перемещение составит соответственно  $16$ ,  $7$  и  $5$  мм. При этом отмечались сложности в позиционировании тарелки относительно воздухозаборника. Для второго варианта регулятора характерна обратная зависимость – чем выше заданная температура обработки сырья, тем большее перемещение рабочего органа регулятора (заслонки) необходимо для компенсации случайных отклонений температуры топочных газов (см. табл.1). Причем величина этих перемещений в 2..3 раза больше, чем для первого варианта регулятора. Это обстоятельство существенно упрощает позиционирование регулирующего элемента и снижает требования к точности исполнительного механизма в случае автоматизации процесса регулирования. Исключения составляют процессы низкотемпературной сушки при высоких температурах топочных газов. В этих случаях необходимые компенсационные перемещения тарелки первого варианта регулятора оказываются в 1,5..2 раза большими, чем перемещение заслонки второго варианта регулятора. В производстве использование таких режимов сушки оказывается крайне неэкономичным из-за нерационального использования энергетического потенциала сушильного агента (топочных газов). Поэтому их рассмотрение не представляет практического интереса.

Во всех предыдущих рассуждениях мы считали, что температура атмосферного воздуха  $t_a$  оставалась постоянной и равной  $+10^{\circ}\text{C}$ . Однако изменение  $t_a$  ощутимо влияет на значение  $\Delta_c$  при низких температурах сушки  $t$  и высоких температурах топочных газов  $t_e$  (см.рис.7), но, как уже отмечалось, такие режимы сушки редко используют в производстве. Закрашенные области на рис.7 определяют границы значений величины  $\Delta_c$  при изменении  $t_a$  от  $0$  до  $+30^{\circ}\text{C}$  при различных заданных температурах сушки ( $100$ ,  $200$  и  $300^{\circ}\text{C}$ ). При значениях  $t$   $200$  и  $300^{\circ}\text{C}$  температура атмосферного воздуха практически не влияет на величину расчетного зазора  $\Delta_c$  между тарелкой и воздухозаборником регулятора. Те небольшие отклонения в величине  $\Delta_c$ , которые вызваны изменениями  $t_a$  легко компенсируются небольшим смещением шиберной заслонки от ее среднего положения. И все же, при расчете  $\Delta_c$  целесообразно использовать среднюю температуру сезона эксплуатации сушильного оборудования (утолщенные цветные линии на рис.7).

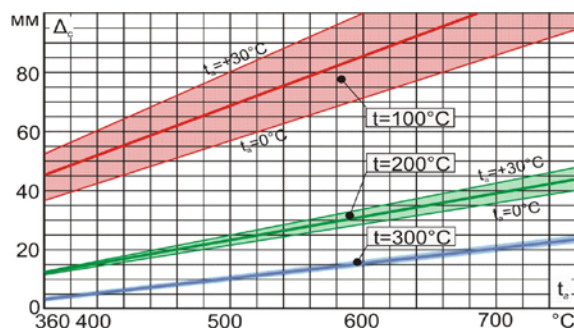


Рис.7 – Зависимость величины зазора  $\Delta_c$  между тарелкой и воздухозаборником от температуры топочных газов  $t_e$  при различных температурах сушки  $t$  и атмосферного воздуха  $t_a$

Общий вид второго варианта регулятора температуры топочных газов показана на рис.8.

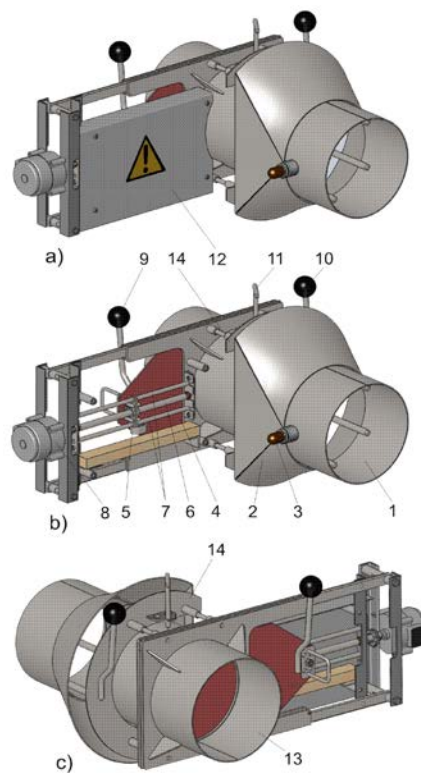


Рис.8. Второй вариант конструкции автоматического регулятора температуры дымовых (топочных) газов:

а) общий вид спереди; б) общий вид со снятым защитным кожухом; в) общий вид сзади

1 – выходной патрубок; 2 – воздухозаборник, 3 – датчик

Таблица 1. Отклонения шиберной заслонки от среднего положения  $\delta_b$  при скачкообразном уменьшении температуры на  $50^\circ\text{C}$  при различных заданных температурах сушки  $t$  и установившихся температурах топочных газов  $t_{густ.}$

ЗАДАННАЯ ТЕМПЕРАТУРА СУШКИ $T, ^\circ\text{C}$	УСТАНОВИВШАЯСЯ ТЕМПЕРАТУРА ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ $T_{густ.}, ^\circ\text{C}$							
	400		500		600		700	
	$\Delta_c, \text{мм}$	$\delta_b, \text{мм}$	$\Delta_c, \text{мм}$	$\delta_b, \text{мм}$	$\Delta_c, \text{мм}$	$\delta_b, \text{мм}$	$\Delta_c, \text{мм}$	$\delta_b, \text{мм}$
100	47,6	17,7	63,5	12,7	88,6	9,8	95,2	8,1
200	15,0	29,5	22,6	17,7	30,1	12,7	37,6	9,8
300	4,9	88,6	10,0	30,0	14,8	17,7	19,7	12,7

Реверсивный электромотор 8 (см.рис.8) со встроенным редуктором через муфту связан с ходовым винтом 6, который при вращении заставляет перемещаться тяговую гайку 5, закрепленную на шиберной заслонке 4. Ход заслонки 4 равен диаметру входного патрубка 13. Крайние положения заслонки 4 контролируют конечные выключатели (на рис.8 не показаны), предотвращающие поломки регулятора в случае выхода из строя автоматической системы регулирования температуры, управляющей работой электромотора 8. Сигналом обратной связи для системы регулирования является сигнал о температуре сушильного агента, получаемый от датчика 3. В случае выхода из строя системы автоматического регулирования температуры или электромотора 8 управление положением шиберной заслонки 4 можно осуществлять вручную при помощи рукоятки 9. При этом тяговую гайку 5 освобождают от зацепления с ходовым винтом 6. Рукоятка 10 служит для установки фиксированного зазора  $\Delta_c$  между тарелкой 14 и воздухозаборником 2 регулятора с последующей фиксацией ее положения фиксатором 11.

Вариант структурной схемы системы автоматического управления температурой топочных газов применительно к конструкции регулятора по рис.8 показан на рис.9.

Схема состоит из реверсивного электромотора 1, механически связанного с шиберной заслонкой 2 регулятора, термопреобразователя 3 (термопары), установленного в выходном патрубке регулятора, схемы сравнения 4, сравнивающий сигнал  $U_{тп}$  от термопары с сигналом  $U_{зад.}$  пропорциональным величине заданной температуры, схемы обработки результата сравнения 5 и пульта управления и индикации 6.

Работает схема следующим образом. После установки величины заданной температуры сушки на пульте управления 6 схема 4 сравнивает уровни сигналов  $U_{тп}$  от термопары 3 с сигналом  $U_{зад.}$ . Результат сравнения обрабатывается блоком 5, формирующим сигнал управления электромотором 1. Если разница сигналов превосходит некоторый заданный порог (гистерезис) и оказывается положительной (температура выше заданной) – мотор прикрывает заслонку 2, увеличивая смещение  $b$ , если отрицательная (температура ниже заданной) – мотор приоткрывает заслонку 2, уменьшая  $b$ . При этом на пульте управления 6 постоянно отражается информация о текущем состоянии системы управления.

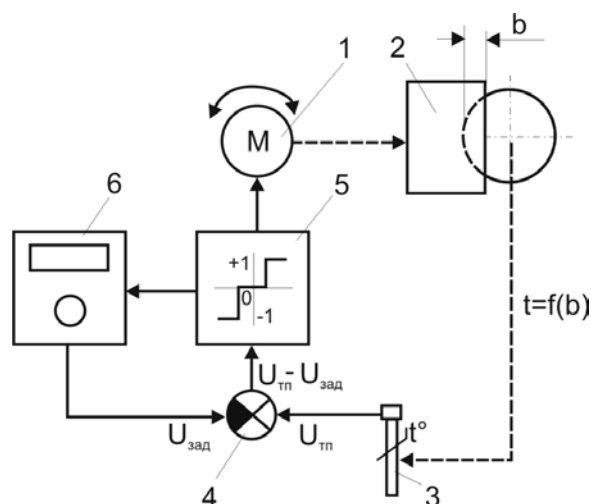


Рис.9. Вариант структурной схемы системы автоматического управления температурой дымовых газов

1 – реверсивный электромотор; 2 – шиберная заслонка; 3 – термопреобразователь (термопара); 4 – схема сравнения; 5 – схема обработки результата сравнения; 6 – пульт управления и индикации состояния системы.

## ВЫВОДЫ

- Способ регулирования температуры топочных газов путем их разбавления атмосферным воздухом является наиболее приемлемым при организации сушки отходов сельскохозяйственного производства не пищевого назначения;
- Соотношение массовых расходов топочных газов и атмосферного воздуха  $Q_g/Q_a$  для регуляторов с изменяемыми сечениями каналов их подачи не зависит от температур компонентов смеси, а определяется только соотношением площадей сечений этих каналов  $S_g/S_a$ .
- При использовании для сушки низких температур сушильного агента ( $100^\circ\text{C}$  и менее), представляющего собой смесь атмосферного воздуха и высокотемпературных ( $600^\circ\text{C}$  и более) топочных газов, регулирование температуры газовой смеси целесообразно производить путем изменения сечения канала подачи атмосферного

воздуха при постоянном сечении канала подачи топочных газов;

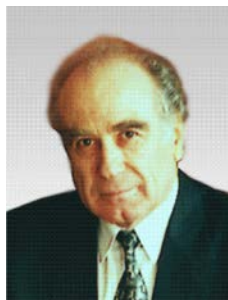
- При использовании для сушки высоких температур сушильного агента (200°C и более), регулирование температуры газовой смеси целесообразно производить путем изменения сечения канала подачи топочных газов при фиксированном сечении канала подачи атмосферного воздуха;
- Если заданные температуры сушки находятся в интервале от 100 до 200°C, то возможно использовать оба способа регулирования температуры, однако предпочтение следует отдать способу с изменением сечения канала подачи топочных газов, поскольку при реализации этого способа снижаются требования к точности позиционирования и упрощается конструкция исполнительных механизмов системы автоматического регулирования;
- Оба варианта описанных регуляторов температуры газовой смеси, помимо своего основного назначения, могут найти применение в промышленных отопительных системах с принудительной подачей горячего воздуха.

### Библиография

- [1] Бунецкий В. О., *Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пелет або брикетів*, Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області, Вип. 10– 2011.
- [2] Овсянко А.Д., *Топливная гранула: Россия, Беларусь, Украина*, Справочник, Биотопливный портал WOOD-PELLETS.COM, 2007.
- [3] Кочетков А.В., Мигуцкий Е.Г., Седнин В.А., *Снижение энергозатрат за счет совершенствования технологического процесса сушки рециркуляцией сушильного агента*, Энергетика, Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, Выпуск № 1, М., 2010.
- [4] Лебедев П.Д., *Расчет и проектирование сушильных установок*, М., Книга по Требованию, с.250.
- [5] Разумов Е.Ю., Данилова Р.В., *Физическая картина процессов, протекающих при предварительной сушке и термообработке пиломатериалов*, Деревообрабатывающая промышленность, №2, 2012.

- [6] Brevet de invenție MD №906, *Dispozitiv pentru obținerea aerului cald pentru uscătorii*.
- [7] Венгеров И.Р., *Теплофизика шахт и рудников. Математические модели*. Том I – Анализ парадигмы. - Донецк, Из-во Норд-Пресс, 2008, с.140.
- [8] *Сушилки пневматические серии DQG*, <http://www.farmingmachine.ru/2-1-2-airflow-dryer.html>.
- [9] *Сушильный аппарат аэродинамического типа DD-1*, [http://www.v-hold.ru/katalog\\_tovarov/](http://www.v-hold.ru/katalog_tovarov/).
- [10] *Сушилка аэродинамическая AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-5 (многоконтурная)*. ООО Норма Инвест, Каталог продукции, <http://171336.ua.all.biz/contacts>.
- [11] *Вентиляционное оборудование*. - <http://www.e-tdm.su/cat/vazno/>.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Хăбăшеску Ион** родился в с.София Дрокиевского р-на в 1938 году где закончил среднюю школу. В 1961 г. закончил факультет Механизации Кишиневского Сельскохозяйственного института. Работал инженером в колхозе, преподавателем спецдисциплин в техникуме, начальником управления учебных заведений Министерства Сельского Хозяйства, генеральном директором НПО „Молдсельхозремонт”, директором Института

Сельскохозяйственной Техники "Mesaagro". В 1990 году защитил диссертацию на звание Доктора Хабилитат технических наук. В 1995 избран членом-корреспондентом Академии Наук РМ



**Молотков Юрий** родился в г. Дербент в 1952 году. В 1969 году закончил среднюю школу в г. Краснодаре. В 1974 году закончил обучение на энергетическом факультете Краснодарского политехнического института. Работал инженером-физиком, младшим научным сотрудником во Всесоюзном институте табака (г.Краснодар), где в 1978 году окончил очную аспирантуру, В 1981 году был приглашен на работу в Молдавский институт табака. В 1985 году

защитил диссертацию на степень кандидата технических наук. С 2006 года работаю в Институте Сельскохозяйственной Техники "Mesaagro" в должности зав.сектором возобновляемых источников энергии