

Е.Н. Тимашева**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТРУБЫ-СУШИЛКИ**

Дана оценка целесообразности перевода пневматической трубы-сушилки в режим работы на попутном нефтяном газе, выданы рекомендации по ведению процесса сушки газовым топливом и конструктивному оформлению сушилки. Рассмотрена тема налипания высушиваемого материала на стенки аппарата.

Ключевые слова: пневматическая труба-сушилка, хлористый калий, горение мазута, попутный нефтяной газ, поле температур, налипание.

Богатые месторождения калийных солей в Березниковско-Соликамском районе Пермского края предопределили приоритетную отрасль промышленности данного региона – добыча и производство калийных минеральных удобрений. Процесс производства хлористого калия включает следующие стадии: добыча руды, измельчение, классификация, флотация, обезвоживание, сушка флотоконцентрата и гранулирование готового продукта.

Для конвективной сушки минерального сырья в крупнотоннажных производствах широко применяются аппараты следующих типов: барабанные сушилки (БС), пневматические трубы-сушилки (ТС) и сушилки с псевдоожиженным (кипящим) слоем (КС) [1, 2]. Пневматические трубы-сушилки (ТС) начали применяться в производстве калийных удобрений с 60-х гг. прошлого века. К их достоинствам относятся простота конструкции и обслуживания, низкая металлоемкость, работа аппарата под разрежением и низкая разность температур между высушенным продуктом и отработанным теплоносителем.

В настоящее время трубы-сушилки на предприятии работают на жидком топливе – мазуте. Однако, с экологической и экономической точки зрения рациональнее использовать газовое

топливо: в продуктах сгорания природного газа отсутствуют зола, копоть и такие канцерогены, как бензопирен; стоимость газового топлива, а особенно попутного нефтяного газа (ПНГ) в разы ниже стоимости мазута, а тепловой эффект при его сжигании, наоборот, выше чем при сжигании жидкого топлива.

Исследования проводились на базе сушильного отделения фабрики Третьего Березниковского калийного rudeуправления ПАО «Уралкалий».

Объект исследования – пневматическая труба-сушилка для сушки флотоконцентрата хлористого калия (КС1).

Необходимо решить следующие задачи, связанные с улучшением работы пневматической трубы-сушилки:

- дать оценку работы трубы-сушилки на соответствие режимной карте и выявить возможность повышения производительности аппарата;
- выявить возможность перевода оборудования в режим работы на попутном нефтяном газе.

Эксперименты с трубой-сушилкой проводили при существующих настройках процесса горения мазута с контролем всех параметров (рис. 1). По показаниям приборов КИПиА в операторской в течение получаса регистрировали нагрузку на сушилку по влажной соли, расходы мазута и первичного воздуха, температуру в

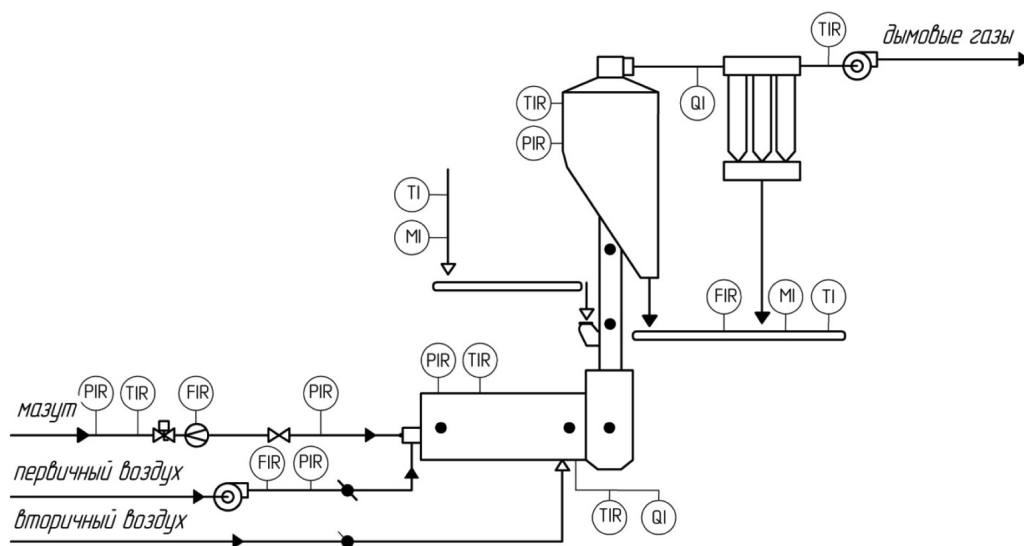


Рис. 1. Технологическая схема сушки KCl (• – точки проведения замеров на месте)

топке, борове, вверху сушилки (на выгрузке из осадительной камеры), давление первичного воздуха перед топкой, разрежение в топке и в верхней части ТС. Непосредственно по месту расположения аппарата термометром измеряли температуры первичного и вторичного воздуха, U-образными манометрами измеряли давление первичного воздуха, разрежение вторичного воздуха в передней и боковых частях топки, над забрасывателем, вверху трубы перед входом в осадительную камеру.

Для оценки соблюдения режимной карты процесса произвели сравнение основных показателей для трех режимов работы (в зависимости от производительности по готовому продукту): 1 режим – 55–60 т/ч, 2 режим – 70–75 т/ч, 3 режим – 90–95 т/ч (рис. 2).

В существующей технологической схеме при горении мазута в топке сушилки контролируется только расход первичного воздуха. Вторичный воздух на разбавление продуктов горения и снижение температуры теплоносителя перед поступлением под зону

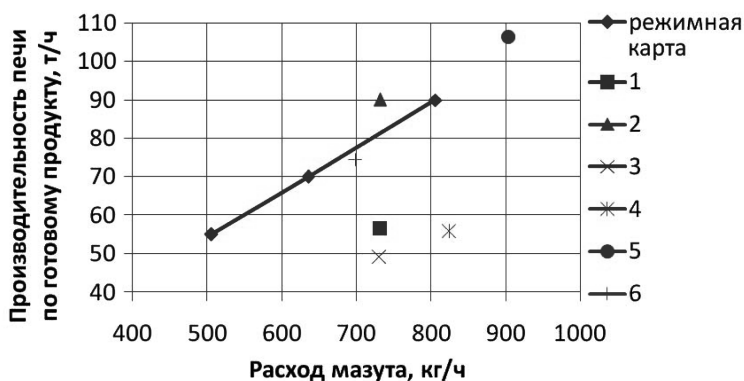


Рис. 2. График зависимости производительности печи по готовому продукту от расхода мазута: 1–6 – данные обследования

заброса влажной соли подается за счет естественного подсоса атмосферного воздуха за пределами помещения через воздухопроводы, находящиеся в передней части и по бокам топки. Неконтролируемый подсос вторичного воздуха происходит также через камеру провала сушилки. Таким образом, расход вторичного воздуха определяется разрежением в топке, которое зависит как от нагрузки, так и от сопротивления аппаратов по технологической нитке и работы дымососа.

В зависимости от расхода топочных газов в топке, борове и под забрасывателем при разных производительностях аппарата определена скорость теплоносителя [1], необходимая для транспортировки и сушки зернистого материала по трубе-сушилке:

$$v_3 = \frac{V_6}{0,785(D_{тр})^2 \cdot 3600} = \frac{103153,556}{0,785 \cdot (1,2)^2 \cdot 3600} = 25,348 \text{ м/с.}$$

Результаты расчетов показали, что скорость теплоносителя в сушилке превышает скорость витания наиболее крупных частиц хлорида калия более чем в 2 раза (для частиц диаметром 1 мм скорость витания частиц составляет около 10 м/с), что достаточно для транспортирования высушиваемого материала.

Для определения возможности повышения производительности пневматической трубы-сушилки проведено измерение разрежения и давления до и после дымососа на холостом ходу без подачи теплоносителя, значения которых составили, соответственно, (-3,0) и 4,9 кПа. Общий напор 7,9 кПа ниже паспортной характеристики дымососа на 1,5 кПа. В рабочем режиме эта разность уже составляет более 2 кПа. Следовательно, дымосос может обеспечить более высокую производительность сушилки, чем рассмотрен-

ные (55–95 т/ч), т.е. до 110–130 т/ч. Об этом также свидетельствует низкая загруженность трубы-сушилки высушиваемым материалом. Сопротивление пневматической трубы вместе с материалом, по расчетам, составило всего 0,17–0,2 кПа (17–20 кг/м²).

Однако, было отмечено, что при переходе трубы-сушилки в 3 режим работы (90–95 т/ч) учащаются случаи аварийной остановки аппарата. Происходит это из-за налипания высушиваемого материала на стенки аппарата. Зона налипания начинается несколько выше места подачи материала, в результате через определенное время уменьшается проходное сечение трубы. Этот недостаток в работе сушилок для КСІ известен на основе длительного опыта эксплуатации сушильных аппаратов в производстве калийных удобрений [3].

Налипание влажных материалов на стенки сушильных аппаратов связано как с адгезионно-когезионными свойствами высушиваемых материалов, так и с характером их сушки в условиях контакта с нагретой поверхностью. Минимальное налипание КСІ наблюдается при температуре поверхности до 50 °С. При нагреве до 80 °С склонность к налипанию сначала резко возрастает, а в дальнейшем монотонно снижается и при температуре 200 °С практически полностью устраняется. В процессе сушки температура теплоносителя и стенок сушилки по высоте трубы быстро падают. По этой причине налипание влажного материала на стенках ТС наиболее интенсивно происходит на начальном (разгонном) участке. Этому способствует также то, что здесь скорость частиц материала является наименьшей [4].

Для определения степени нагрева наружной металлической поверхности трубы-сушилки по высоте было снято поле температур над забрасывателем по высоте трубы на расстоя-

нии 1070 мм и на входе в осадительную камеру по высоте 950 мм. Измерения охватывали половину сечения трубы. Стенка напротив забрасывателя при всех исследованных нагрузках имеет достаточно высокую температуру 230–310 °С (рис. 3). Снижение температуры до входа трубы в осадительную камеру в среднем составило 104 °С при средней нагрузке по всем опытам 72 т/ч. При нагрузках свыше 70 т/ч температура поверхности трубы вверху аппарата может снижаться до 68–83 °С. При этих условиях работы сушилки можно утверждать, что движущийся недосушенный продукт «ложится» на стенку трубы, тем самым ее охлаждая и приводя к образованиям наростов. Объяснить это можно недостаточным подводом тепла под зону заброса материала, однако показания температуры верха по прибору в операторской были не ниже режимной 134...156 °С. С большой долей вероятности можно утверждать, что происходит подсос воздуха через забрасыватель. На действующей сушилке ширина забрасывателя равна диаметру трубы. В целях снижения подсоса воздуха через забрасыватель необходимо уменьшить его ширину на 25–30%. Это также будет способствовать забросу материала непосредственно в центральную часть трубы. Кроме того, уменьшить величину неконтролируемого подсоса вторичного воздуха можно установкой на камеру провала откидного клапана.

Чтобы выявить возможность перевода сушилки в режим работы на попутном газе по методике [5] проведен расчет горения мазута марки М100, сжигаемого в топках трубсушилок, а также попутного нефтяного газа. Определен теоретический объем атмосфер-

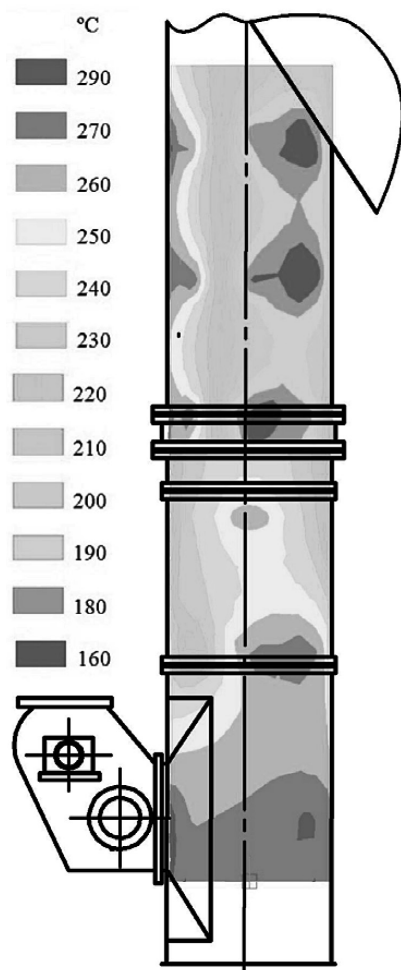


Рис. 3. Поле температур стенок сушилки

Сравнительная характеристика горения жидкого и газообразного топлива

Расчетные параметры	Мазут	Попутный нефтяной газ
Теплота сгорания, кДж/кг	38 711,25	42 837,93
Теоретически необходимое для горения количество сухого воздуха, м ³ /кг	10,13	11,29
Общее теплосодержание продуктов горения, кДж/м ³	2976,19	2863,50
Теоретическая температура горения топлива, °С	1808	1762
Расчетное теплосодержание продуктов горения (при $\eta_n = 0,8$), кДж/м ³	2380,95	2290,80
Действительная температура горения топлива, °С	1500	1458

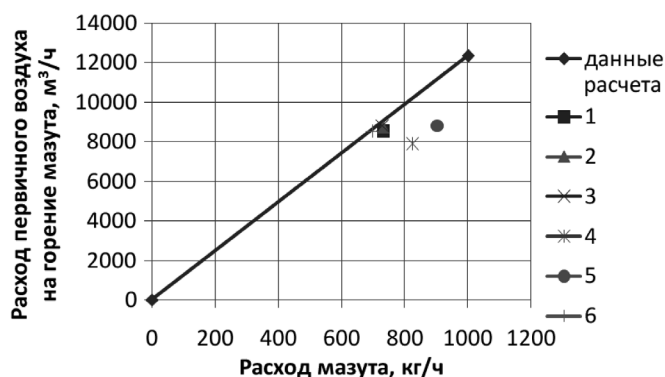


Рис. 4. График зависимости расхода первичного воздуха от расхода мазута:
1–6 – данные обследования

ного воздуха для сгорания одного килограмма мазута и одного кубометра газа, которые при коэффициенте избытка воздуха, равном 1,2, составили $12,35 \text{ м}^3/\text{кг}$ и $13,76 \text{ м}^3/\text{м}^3$, соответственно. Общее количество продуктов сгорания одного килограмма мазута составило $13,01 \text{ м}^3/\text{кг}$, кубометра нефтяного газа – $14,96 \text{ м}^3/\text{м}^3$. С учетом пирометрического коэффициента, низшей теплоты сгорания мазута и общего теплосодержания продуктов сгорания установлена температура теплоносителя в топке, в зоне горения мазута – 1500°C , газа – 1458°C . Сравнение полученных данных приведены в таблице.

Учитывая, что согласно проведенному расчету для сгорания 1 кг мазута необходимо $10,13 \text{ м}^3$ воздуха ($12,16 \text{ м}^3$ при $\alpha = 1,2$), составлен график зависимости расхода первичного воздуха от расхода мазута (рис. 4). Сопоставили результаты расчетов и данные исследований выявили незначительные отклонения в ведении технологического процесса.

Перевод пневматической трубы-сушилки с мазута на газ не требует конструктивных изменений топки. Отсутствие взрывных клапанов компенсируется отверстиями в передней части, на боковых стенках топки и в камере провала. Их площадь, без учета камеры провала, согласно приведенному

расчету соответствует пределам допустимых значений для объема топки в 40 м^3 [6]. Для одного клапана эта площадь должна быть не менее $0,18 \text{ м}^2$ [7].

Для сжигания газа возможно использовать газомазутную горелку типа ГМСБ–14 мощностью 14 МВт , обеспечивающую расход до $1400 \text{ м}^3/\text{ч}$. Горелки данного типа уже используются на предприятии. Разрежение в топке поддерживается в пределах $40\text{--}50 \text{ Па}$, давление газа перед топкой 30 кПа ($0,3 \text{ кг}/\text{см}^2$).

Таким образом, по результатам испытаний и расчетов можно сделать следующие выводы и рекомендации.

В целях безопасности и эффективности ведения сушильного процесса необходимо реализовать контур регулирования: расход топлива – расход воздуха – температура верха ТС [8].

Уменьшение ширины забрасывателя и установка откидного клапана на камеру провала может [9] решить проблему налипания соли в аппарате при ведении процесса в 3-м режиме.

С точки зрения технологии сушки, использование попутного нефтяного газа в качестве топлива в топке пневматической сушилки возможно. При этом необходимо выполнить все требования безопасной эксплуатации топочных устройств по сжиганию природного газа, которые предписываются нормативными документами.

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1968. – 360 с.
2. Филиппов В.А. Конструкция, расчет и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. – М.: Недра, 1979. – 309 с.
3. Тимофеев И.Е. Особенности процесса сушки хлорида калия в пневматической трубе сушилке: дис. канд. техн. наук. – Пермь, 2008. – 169 с.
4. Селиверстов А.А., Тимофеев И.Е., Загидуллин С.Х. К вопросу о налипании материала на рабочие поверхности пневматических сушилок // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 208 – 211.
5. Левченко П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности. – М.: Высшая школа, 1968. – 367 с.
6. Исламов М.Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей. – Л.: Химия, 1986. – 281 с.
7. Гордюхин А.И. Газовые сети и установки. – М.: Стройиздат, 1978. – 384 с.
8. Бильфельд Н.В., Затонский А.В. Применение самоорганизующихся систем при управлении сложными процессами // Проблемы теории и практики управления. – 2007. – № 12. – С. 70–74.
9. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф. Оптимизация конструктивных параметров колонны с вращающейся подвижной насадкой // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 2. – С. 41–48. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Тимашева Елена Николаевна – аспирант, e-mail: tmp@bf.pstu.ac.ru, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал.

UDC 66.047-912

OPTIMIZED OPERATION OF PNEUMATIC DRIER

Timasheva E.N., Graduate Student, e-mail: tmp@bf.pstu.ac.ru, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch, 618400, Berezniki, Russia.

The article discusses advisability to use associated petroleum gas to operate pneumatic driers and makes recommendations on gas fueling of pneumatic driers and on the drier design. The issue of dried material adhering to walls of pneumatic driers is considered.

Key words: pneumatic drier, potassium chloride, fuel oil combustion, associated petroleum gas, temperature field, accretion.

REFERENCES

1. Romankov P.G., Rashkovskaya N.B. *Sushka vo vzveshennom sostoyanii* (Suspended state drying), Leningrad, Khimiya, 1968, 360 p.
2. Filippov V.A. *Konstruktsiya, raschet i ekspluatatsiya ustroystv i oborudovaniya dlya sushki mineral'nogo syr'ya* (Design, calculation and operation of machines for mineral drying), Moscow, Nedra, 1979, 309 p.
3. Timofeev I.E. *Osobennosti protsessa sushki khlorida kaliya v pnevmaticheskoi trube sushilke* (Features of pneumatic drying of potassium chloride), Candidate's thesis, Perm, 2008, 169 p.
4. Seliverstov A.A., Timofeev I.E., Zagidullin S.Kh. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2013, no 2, pp. 208–211.
5. Levchenko P.V. *Raschety pechei i sushil silikatnoi promyshlennosti* (Calculation of furnaces and drying ovens in silicate industry), Moscow, Vysshaya shkola, 1968, 367 p.
6. Islamov M.Sh. *Proektirovanie i ekspluatatsiya promyshlennykh pechei* (Designing and operation of industrial furnaces), Leningrad, Khimiya, 1986, 281 p.
7. Gordyukhin A.I. *Gazovye seti i ustanovki* (Gas circuits and gas-fired plants), Moscow, Stroiizdat, 1978, 384 p.
8. Bil'fel'd N.V., Zatonskii A.V. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*. 2007, no 12, pp. 70–74.
9. Bekker V.F., Kissel'man I.F. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2011, no 2, pp. 41–48.