

Влияние распределения теплопотребителей и эффекта самоиспарения на расход пара многокорпусной выпарной установки сахарного завода

Андрей А. Громковский¹ itmu@vsuet.ru

¹ кафедра информационных технологий моделирования и управления, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия

Реферат. В статье рассмотрено влияние распределения теплопотребителей и эффекта самоиспарения сока для многокорпусной выпарной установки сахарного завода на расход основного производственного теплоносителя – водяного пара. Задача рационального распределения теплопотребителей по корпусам выпарной установки является актуальной с точки зрения энергосбережения и экономии тепловых энергоресурсов сахаропроизводящего предприятия. Решение этой задачи целесообразно проводить на основе количественного математического описания распределения паров по корпусам выпарной установки. Распределение теплопотребителей должно основываться на результатах технико-экономического расчёта. Для решения этой задачи целесообразно использовать единое уравнение, определяющее зависимость расхода пара на первый корпус от количества выпариваемой воды и от способа распределения теплопотребителей по корпусам. Выпарная установка сахарного завода выполняет две функции – технологическую и теплотехническую, каждая из которых описывается своим уравнением. На основании уравнений материального и теплового баланса для реализации основных функций выпарной установки записана система уравнений многокорпусной выпарной установки. Решение системы позволяет получить уравнение расхода пара и количества выпаренной воды с учётом эффекта самоиспарения сока. Решение системы должно осуществляться с учётом принятых норм проектирования сахарных заводов. В результате решения системы получено уравнение, которое позволяет организовывать и оптимизировать распределение теплопотребителей по корпусам выпарной установки. Уравнение может быть использовано для любого количества корпусов выпарной установки. Полученное уравнение позволяет проводить оценку эффективности функционирования выпарной установки сахарного завода. Это имеет большое практическое значение при модернизации тепловых схем сахарных заводов.

Ключевые слова: производство сахара, выпарная установка, моделирование, тепловая схема сахарного завода, распределение теплопотребителей по корпусам выпарной установки

Influence of heat consumers distribution and flashing vapours effect on steam consumption of evaporation plant of sugar factory

Andrey A. Gromkovskii¹ itmu@vsuet.ru

¹ information technology, modeling and management department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia

Summary. The article considered the influence of the heat consumers distribution and the flashing vapours effect juice for multiple-evaporator sugar factory on the consumption the main production flow of heat transfer agent – water vapor. The problem of rational distribution of heat transfer agent for of the corps multiple-evaporator is relevant from point of view of energy saving and energy-saving heat of the sugar factory. The solution to this problem is advantageously carried out on the basis of quantitative mathematical description of the distribution of vapor on the corps of the evaporation plant. The heat consumers distribution should be based on technical and economic calculation. To solve this problem it is advisable to use a single equation that determines the dependence of the steam flow in the first unit evaporator on the amount of evaporated water and the method of heat consumers distribution for housing. Evaporators sugar factory has two functions – technology and heat, each of which is described by its equation. On the basis of the material and heat balance equations for the realization of the basic functions of the system evaporator written multiple-evaporator equations. The solution of this system allows you to obtain the equation of the steam flow and the amount of evaporated water, taking into account the flashing vapours effect. Solution of the system should take into account the accepted design standards of sugar factories. As a result of solving the system of equation is obtained, which allows you to organize and optimize the heat consumers distribution of the corps evaporator. The equation can be used for any number of units evaporator. This equation allows you to assess the efficiency of the evaporation plant of a sugar factory. This is of great practical importance in the modernization of thermal schemes of sugar factories.

Keywords: sugar production, evaporation plant, modeling, thermal scheme of sugar factory, heat consumers distribution on the evaporation plant corps

Для цитирования

Громковский А. А. Влияние распределения теплопотребителей и эффекта самоиспарения на расход пара многокорпусной выпарной установки сахарного завода // Вестник ВГУИТ. 2016. № 2. С. 233–237. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-233-237

For citation

Gromkovskii A. A. Influence of heat consumers distribution and flashing vapours effect on steam consumption of evaporation plant of sugar factory. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 2 pp. 233–237 (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2016-2-233-237

Введение

Многокорпусная выпарная установка (МВУ) сахарного завода является основным элементом тепловой схемы, который определяет показатели расхода энергоресурсов при производстве сахара. Рациональное использование энергоресурсов влияет на эффективность производства, на уровень энергосбережения и позволяет снизить затраты, которые могут достигать до 30% общих затрат на производство [1, 2, 6, 9–10].

Уровень энергосбережения тепловой схемы предприятия зависит от эффективности использования тепловых отходов, распределения теплопотребителей по корпусам МВУ и эффективности используемой технологии [3, 4, 7–10].

При организации производства сахара актуальной является задача рационального распределения теплопотребителей по корпусам выпарной установки. Правильное решение этой задачи позволяет снизить расход энергоресурсов в производстве сахара и повысить энергосбережение. Решение этой задачи целесообразно осуществлять на основе построения количественного описания распределения теплопотребителей для выпарной установки.

При выпаривании очищенного сока в многокорпусной выпарной установке сахарного завода одновременно происходит несколько процессов, оказывающих влияние на расход греющего пара:

- потери тепла в окружающую среду;
- самоиспарение сока при поступлении в корпус с меньшим давлением;
- выделение теплоты концентрирования;
- использование второго теплоносителя, – паров самоиспарения конденсатов.

При проектировании МВУ условно принимают положение о том, что тепловые потери компенсируются самоиспарением сока, теплотой концентрирования пренебрегают. При таком условии можно считать, что в каждом корпусе МВУ 1 кг греющего пара, включая пары самоиспарения конденсатов, выпаривает 1 кг воды. Это условие можно записать в виде:

$$D_i = W_i - D_{CHi}, \quad (1)$$

где i – номер корпуса МВУ; D_i – расход греющего пара в i -м корпусе МВУ; W_i – количество воды, выпаренной в i -м корпусе МВУ; D_{CHi} – расход пара самоиспарения конденсата в i -м корпусе МВУ.

Следует отметить, что в дальнейшем изложении при количественном описании все массовые расходы продуктов и количества паров, выражаются в кг/т свёклы.

МВУ сахаропроизводящего предприятия предназначена для осуществления двух

функций – теплотехнической, для обеспечения вторичным соковым экстрапаром всех технологических станций завода и технологической, для проведения предварительного выпаривания очищенного сока от начальной концентрации CB_o до заданной концентрации CB_c перед поступлением сиропа в вакуум-аппараты I продукта.

С целью реализации первой функции вторичные пары W_i после выхода из каждого корпуса выпарной установки расходуются на обогревание теплопотребителей (D_{TH}) и нагревание следующего корпуса в соответствии с уравнением:

$$W_i = \sum_i D_{THi} + D_{i+1}. \quad (2)$$

Выполнение второй, технологической функции МВУ определяется уравнением материального баланса:

$$\sum_{i=1}^n W_i = m_o \left(1 - \frac{CB_o}{CB_c} \right), \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n W_i = W_1 + \dots + W_n$ – суммарное количество воды, выпариваемой во всех корпусах МВУ; m_o – выход очищенного сока; CB_o – концентрация сухих веществ в соке; CB_c – в сиропе.

При проектировании МВУ определяется расход пара на I корпус D_1 при заданных расходах на технологические потребители при соблюдении равенства (3). Для этого решается система уравнений (1)–(2), записанных для каждого корпуса выпарной установки.

Для тепловой схемы с пятикорпусной выпарной установкой такая система может быть представлена в виде [2]:

$$\left\{ \begin{aligned} D_5 &= W_5 = \sum D_{TH5} - D_{CH5} \\ D_4 &= W_4 - D_{CH4} = \sum D_{TH4} + D_5 - D_{CH4} = \\ &= \sum D_{TH4} + \sum D_{TH5} - D_{CH4} - D_{CH5} \\ D_3 &= W_3 - D_{CH3} = \sum D_{TH3} + D_4 - D_{CH3} = \\ &= \sum D_{TH3} + \sum D_{TH4} + \sum D_{TH5} - \sum_{i=3}^5 D_{CHi} \\ D_2 &= W_2 - D_{CH2} = \sum D_{TH2} + D_3 - D_{CH2} = \\ &= \sum D_{TH2} + \sum D_{TH3} + \sum D_{TH4} + \\ &+ \sum D_{TH5} - \sum_{i=2}^5 D_{CHi} \\ D_1 &= W_1 - D_{CH1} = \sum D_{TH1} + D_2 - D_{CH1} = \\ &= \sum D_{TH1} + \sum D_{TH2} + \sum D_{TH3} + \sum D_{TH4} + \\ &+ \sum D_{TH5} - \sum_{i=1}^5 D_{CHi} \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Решение системы уравнений (4) позволяет получить уравнение расхода пара и количества выпаренной воды с учётом эффекта самоиспарения.

Расход пара на I корпус МВУ определяется заключительным уравнением этой системы:

$$D_1 = \sum D_{ТП1} + \sum D_{ТП2} + \sum D_{ТП3} + \sum D_{ТП4} + \sum D_{ТП5} - \sum_{i=1}^5 D_{СИi} \quad (5)$$

Общее количество выпаренной воды зависит от суммарного расхода пара на технологические потребители за вычетом суммы использованных паров самоиспарения конденсатов (6):

$$\sum_{i=1}^n W_i = \sum D_{ТП1} + 2 \sum D_{ТП2} + 3 \sum D_{ТП3} + 4 \sum D_{ТП4} + 5 \sum D_{ТП5} - D_{СИ1} - 2D_{СИ2} - 3D_{СИ3} - 4D_{СИ4} - 5D_{СИ5} \quad (6)$$

Анализ уравнений (5) и (6), определяющих результаты проектирования МВУ позволяет сделать следующие выводы.

Расход пара из ТЭЦ на выпаривание в количестве D_1 определяется суммарным расходом пара на все теплопотребители. Недостаток уравнения (5) состоит в том, что оно не определяет влияния распределения вторичных паров на расход пара. При этом каждый теплопотребитель влияет в одинаковой мере на расход пара из ТЭЦ. Общее количество выпаренной воды и концентрация сиропа непропорциональны расходу пара на теплопотребители. Количество использованных паров самоиспарения также неодинаково влияет на количество выпаренной воды. Использование паров самоиспарения положительно влияет на снижение расхода пара, но отрицательно отражается на технологической функции выпарной установки, так как приводит к снижению количества выпаренной воды и уменьшению концентрации сиропа. Для нахождения оптимального решения необходимо совместно решить уравнения (5) и (6).

Недостаток рассмотренной методики состоит в том, что она не отвечает на вопрос об оптимальном распределении теплопотребителей по корпусам МВУ. Распределение теплопотребителей задаётся нормами проектирования свеклосахарных заводов [1, 5]. Данные нормы разработаны для состояния техники и технологии производства сахара в 80–90-е годы XX века. В настоящее время при проектировании новых заводов и реконструкции действующих,

должны использоваться эффективные современные технологии и прогрессивное технологическое и тепловое оборудование.

Распределение теплопотребителей должно обосновываться результатами технико-экономического расчёта. Для решения этой задачи целесообразно использовать единое уравнение, определяющее зависимость расхода пара на первый корпус от количества выпариваемой воды и от способа распределения теплопотребителей по корпусам. Такое уравнение получается при совместном решении уравнений (5) и (6) для пятикорпусной МВУ.

Выделим в правой части уравнения (6) слагаемые, определяющие расход пара D_1 :

$$D_1 = \sum D_{ТП1} + \sum D_{ТП2} + \sum D_{ТП3} + \sum D_{ТП4} + \sum D_{ТП5} - \sum_{i=1}^5 D_{СИi}$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = \sum D_{ТП1} + 2 \sum D_{ТП2} + 3 \sum D_{ТП3} + 4 \sum D_{ТП4} + 5 \sum D_{ТП5} - D_{СИ1} - 2D_{СИ2} - 3D_{СИ3} - 4D_{СИ4} - 5D_{СИ5}$$

После преобразований получим соотношение для общего количества выпаренной воды:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n W_i &= 5(\sum D_{ТП1} + \sum D_{ТП2} + \sum D_{ТП3} + \sum D_{ТП4} + \sum D_{ТП5} - \sum_{i=1}^5 D_{СИi}) - 4 \sum D_{ТП1} - \\ &- 3 \sum D_{ТП2} - 2 \sum D_{ТП3} - \sum D_{ТП4} - 0 \sum D_{ТП5} + \\ &+ 4 \sum D_{СИ1} + 3 \sum D_{СИ2} + 2 \sum D_{СИ3} + \sum D_{СИ4} = (7) \\ &= 5D_1 - 4 \sum D_{ТП1} - 3 \sum D_{ТП2} - 2 \sum D_{ТП3} - \\ &- \sum D_{ТП4} + 4 \sum D_{СИ1} + 3 \sum D_{СИ2} + 2 \sum D_{СИ3} + \\ &+ \sum D_{СИ4} \end{aligned}$$

Решая уравнение (7) относительно расхода пара, выпариваемого в первом корпусе МВУ D_1 , получим:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{\sum_{i=1}^5 W_i}{5} + \frac{4}{5} \sum_{i=1}^5 D_{ТПi} + \frac{3}{5} \sum_{i=1}^5 D_{ТП2} + \\ &+ \frac{2}{5} \sum_{i=1}^5 D_{ТП3} + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 D_{ТП4} - \frac{4}{5} D_{СИ1} - \frac{3}{5} D_{СИ2} - \frac{2}{5} D_{СИ3} - \frac{1}{5} D_{СИ4} \quad (8) \end{aligned}$$

Обобщая полученное соотношение, для выпарной установки с любым количеством корпусов n , уравнение (8) можно записать в виде:

$$D_1 = \frac{W}{n} + \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n D_{ТП1} + \frac{n-2}{n} \sum_{i=1}^n D_{ТП2} + \\ + \frac{n-3}{n} \sum_{i=1}^n D_{ТП3} + \dots + \frac{n-n}{n} \sum_{i=1}^n D_{ТПn} - \\ - \frac{n-1}{n} D_{СИ1} - \frac{n-2}{n} D_{СИ2} - \frac{n-3}{n} D_{СИ3} - \\ - \dots - \frac{n-n}{n} D_{СИn} \quad (9)$$

Полученное соотношение является математической моделью, определяющей структуру использования пара, поступающего на I корпус МВУ из ТЭЦ. Из уравнений (8) и (9) видно, что пар расходуется на выпаривание воды, получение вторичного пара и на обогревание теплопотребителей присоединённых к корпусам МВУ. При этом на выпаривание воды расходуется 1/5 часть (20%) от общего количества выпариваемой воды. Использование пара на обогревание теплопотребителей неравнозначное в отличие от уравнений (4) и (6), так как зависит от номера корпуса и определяется величиной эквивалента, который уменьшается от первого корпуса к последнему. Если для теплопотребителей, присоединённых к I корпусу, величина эквивалента составляет 0,8, то для IV корпуса пятикорпусной МВУ эта величина составляет 0,2.

Использование паров самоиспарения конденсата приводит к снижению расхода пара из ТЭЦ, и как следствие к повышению энергосберегающего эффекта. Для снижения расхода пара D_1 необходимо использовать максимальное самоиспарение конденсатов с понижением

температуры до 105 °С. При этом доля тепла паров самоиспарения конденсатов составит свыше 20% от расхода пара на I корпус. Влияние использования паров самоиспарения на D_1 в соответствии с уравнениями (8) и (9) показывает, что наибольшее снижение расхода пара происходит за счёт использования паров самоиспарения на первых корпусах, где эквивалент использования паров – наибольший. На IV и V корпусах влияние паров самоиспарения на снижение расхода пара в МВУ – минимальное и, очевидно, стремиться к значительному эффекту самоиспарения на этих корпусах нецелесообразно. Количество паров самоиспарения зависит от величины перепада давлений между корпусами. Чем меньше перепад давления, тем ниже коэффициент самоиспарения. Поэтому для оптимального режима работы МВУ целесообразно поддерживать повышенное давление на V корпусе. Оптимальной является выпарная установка, работающая под повышенным давлением.

Пар конденсата вторичного пара последнего корпуса МВУ влияет на расход пара D_1 через общее количество выпаренной воды $\sum W_i$.

Заключение

Эффективность полученных выводов подтверждается снижением удельного расхода пара на МВУ [3]. Эти выводы целесообразно использовать при внесении изменений в нормы проектирования и инструкции по нормированию расхода топлива на заводе [1, 5]. Полученное уравнение (9) позволяет проводить оптимальное распределение паров между корпусами МВУ и количественно оценивать любой вариант распределения паров. Это имеет большое практическое значение при модернизации тепловых схем действующих сахарных заводов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ведомственные нормы технологического проектирования свеклосахарных заводов ВНТП 03 – 85. М.: Минпищепром СССР, 1985. 208 с.
- 2 Громковский А.И., Громковский А.А. Распределение теплопотребителей по корпусам выпарной установки сахарного завода // Сахар. 2015. № 8. С. 28–31.
- 3 Громковский А.И., А.А. Громковский Оценка работы выпарной установки сахарного завода по удельному расходу пара // Сахар. 2015. № 11. С. 36–38.
- 4 Зелепукин Ю.И., Голыбин В.А., Ткачев А.А. Современные технологии для производства сахара из свеклы // Пищевая промышленность. 2012. № 3. С. 52–53.

- 5 Инструкция по нормированию расхода тепловой энергии в производстве сахара-песка из сахарной свеклы (переработка сахарной свеклы, вывод и переработка сахарного сиропа). Киев: ВНИИСП, 1983. 139 с.

- 6 Колесников В.А., Нечаев Ю.Г. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов. М.: Пищевая промышленность, 1980. 392 с.

- 7 Разладин Ю.С., Разладин С.Ю. Справочное пособие инженера-теплоэнергетика сахарного производства. Киев: «Щек і Хорив», 2006. 407 с.

- 8 Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара. СПб.: ИД «Профессия», 2013. 296 с.

- 9 Чернобыльский И.И. Выпарные установки. Киев: Вища школа, 1970. 240 с.

10 Штангеев К.О. Рационализация теплоиспользования в свеклосахарной промышленности. М.: 2005. 68 с

REFERENCES

1 Vedomstvennye normy tekhnologicheskogo proektirovaniya sveklosakharnykh zavodov VNTP03-85 [Departmental rules of technological design beet sugar factories VNTP 03 – 85] Moscow, Minpishcheprom USSR, 1985. 208 p. (in Russian).

2 Gromkovskii A.I., Gromkovskii A.A. Distribution of the heat consumers buildings evaporator sugar factory. *Sakhar* [Sugar] 2015, no. 8, pp. 28–31. (in Russian).

3 Gromkovskii A.I., Gromkovskii A.A. Evaluation of the evaporator sugar factory on the specific steam consumption. *Sakhar* [Sugar] 2015, no. 11, pp. 36–38. (in Russian).

4 Zelepukin Yu.I., Golybin V.A., Tkachev A.A. Modern technologies for the production of beet sugar. *Pishchевaya promyshlennost'* [Food Industry] 2012, no. 3, pp. 52–53. (in Russian).

5 Instruksiya po normirovaniyu raskhoda teplovoi energii v proizvodstve sakhara-peska iz

sakharnoi svekly [Instructions on rationing of thermal energy consumption in the production of sugar from sugar beet (sugar beet processing, output and processing of sugar syrup)] Kiev, VNIISP, 1983. 139 p. (in Russian).

6 Kolesnikov V.A., Nechayev Yu.G. Teplosilovoe khozyaistvo sakharnykh zavodov [Heat-power economy of sugar factories] Moscow, Pishchvaya promyshlennost', 1980. 392 p. (in Russian).

7 Razladin Yu.S., Razladin S.Yu. Spravochnoe posobie inzhenera-teploenergetika [Handbook heating energy engineer sugar production] Kiev, Shcheki Khoriv, 2006. 407 p. (in Russian).

8 Sapronov A.R., Sapronova L.A., Ermolaev S.V. Tekhnologiya sakhara [Sugar technology] Saint-Petersburg, Professiya, 2013, 296 p. (in Russian).

9 Chernobylskii I.I. Vyparnye ustanovki [Evaporation plants] Kiev, Vishcha shkola, 1970. 240 p. (in Russian).

10 Shtangeev K.O. Ratsionalizatsiya teploispol'zovaniya v sveklosakharnoi promyshlennosti [Rationalization the use of heat in the sugar beet industry] Moscow, 2005. 68 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей А Громковский к. т. н., доцент, кафедра информационных технологий моделирования и управления, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, itmu@vsuet.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Андрей А Громковский обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнил расчёты, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 30.03.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 27.04.2016

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Andrey A. Gromkovskii Ph D, associate professor, information technology, modeling and management department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, itmu@vsuet.ru

CONTRIBUTION

Andrey A. Gromkovskii review of the literature on an investigated problem, performed computations, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The author declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.30.2016

ACCEPTED 4.27.2016