

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ГОФРОКАРТОНА С УЧЕТОМ СЕКЦИИ СУШИЛЬНОГО СТОЛА

Д.Л. ПИОТРОВСКИЙ¹, Р.Р. ЧЕРНЫЙ²

¹ *Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,
электронная почта: piotrovsky2005@yandex.ru*

² *Краснодарское высшее авиационное училище летчиков
имени Героя Советского Союза А.К.Серова
350090, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Дзержинского, 135
электронная почта: fobos800@mail.ru*

В статье описан процесс сушки гофрокартона и приведена математическая модель. Рассмотрены вопросы использования полученной модели при исследовании процесса. Сушка гофрокартона, и, соответственно, сушильный стол, разбита на две части (собственно сушка и охлаждение). Сушильная часть состоит из трех независимых частей с раздельным пароснабжением, что позволяет разделить процесс нагревания и сушки гофрокартона в сушильной части на три этапа. Показано, что при анализе процесса сушки необходимо говорить о приведенной температуре и приведенном влагоотделении, при равномерном значении величины которых вдоль одной секции стола выпаривается эквивалентное значение влаги, выпариваемой за 1 мин из гофрокартона при данном градиенте температур, настроенном с помощью вентилях вдоль одной секции сушильного стола.

Ключевые слова. Сушка гофрокартона, секции сушильного стола; математическая модель

Технологический процесс сушки гофрокартона имеет две составляющие, имеющие самостоятельное значение.

Во-первых – это сложная тепловая система, которая представляет собой сушильный стол. Он состоит из закрепленных в станине сушильных плит, обогреваемых паром. Сложность теплофизических процессов, проходящих в этих плитах, значительно усложняют процесс их теплового регулирования (регулирования их теплового режима).

Во-вторых – сложен процесс выпаривания влаги из гофрированного картона. Сложность структуры поперечного сечения гофрированного картона делает проблематичной априорный теоретический расчет тепломассообменных процессов в нем [1].

Рассмотрим технологический процесс сушки гофрокартона, происходящий на сушильном столе типа АГП2СО9А. Сушка гофрокартона, и,

соответственно, сушильный стол, разбита на две части (собственно сушка и охлаждение). Сушильная часть состоит из трех независимых частей с раздельным пароснабжением, что позволяет разделить процесс нагревания и сушки гофрокартона в сушильной части на три этапа. Конструктивно этапы нагревания гофрокартона осуществляются в секциях сушильного стола. В первой секции осуществляется первый этап (I этап). Во второй секции - второй этап (II этап). В третьей и четвертой секциях - третий этап (III этап). Соответственно обогревание первой, второй и третьей (четвертой) секций осуществляется первым, вторым и третьим паровым контурами со своими системами пароснабжения и конденсатоудаления.

Сушка - это, с одной стороны, сложный процесс одновременно тепло- и массообмена, а с другой - технологический физико-химический процесс, при проведении которого должны быть не только сохранены исходные свойства материалов, но даже улучшены [2]. Гофрокартон является довольно специфическим материалом со сложной внутренней структурой, с воздушными каналами между гофрированной бумагой и плоскими слоями картона, которая приближенно может быть принята как пористая. Идущие в нем процессы при сушке имеют сложный характер. С одной стороны гофрокартон ограничен поверхностью греющей плиты, с другой - довольно плотным транспортным сукном. Влага испаряется в основном в воздушные каналы гофрокартона, расположенные перпендикулярно направлению движения гофрокартона по столу. Движение пара по каналам имеет сложный характер, что многократно усложняет процесс сушки (возможность его математического моделирования) [3].

Математическую модель технологического процесса сушки гофрокартона можно составить на основе уравнения материального баланса. Можно считать, что весь гофрокартон входя на сушильный стол, высушиваясь, покидает его. Поток гофрокартона (даже сырой) представляет собой плотное полотно, которое практически не растягивается и не сжимается, каждая часть которого синхронно движется по столу с другими частями [4]. Это значит, что если в

качестве координаты принять расстояние от начала сушильного стола, то частная производная по этой координате будет равна нулю:

$$dv_L / dL = 0 \quad , \quad (1)$$

где v_L - линейная скорость полотна гофрокартона по сушильному столу, м/ мин;

L - расстояние от начала сушильного стола до точки измерения линейной скорости, м.

Расход гофрокартона при сушке может быть определен по формуле [2]:

$$G_{зф} = v_L * h * m \quad (2) \quad ,$$

где h - ширина полотна гофрокартона, м;

m - масса 1 м^2 гофрокартона, м/ м^2 ;

v_L - линейная скорость полотна гофрокартона по сушильному столу, м/мин.

В свою очередь, масса 1 м^2 гофрокартона состоит из двух частей [6]:

$$m = m_{сх} + \omega \quad , \quad (3)$$

где $m_{сх}$ - масса абсолютно сухого вещества гофрокартона, содержащегося в 1 м^2 гофрокартона, кг/ м^2 ;

ω - масса воды, содержащейся в 1 м^2 гофрокартона, кг/ м^2 .

Из уравнений (1) и (2) следует равенство:

$$\partial G_{зф} / \partial L = 0 \quad (4)$$

где $G_{зф}$ - расход гофрокартона при сушке, кг/мин;

$G_{зфвых}$ - расстояние от начала сушильного стола до точки измерения, м.

Из уравнения (4) следует, что уравнение материального баланса можно записать в виде [7]:

$$G_{зфвых} = G_{зфвх} + W \quad , \quad (5)$$

где $G_{зфвх}$ - расход гофрокартона на входе в сушильный стол (сырого), кг/мин;

$G_{зфвых}$ - расход гофрокартона на выходе из сушильного стола, кг/мин;

W - количество воды, выпариваемой сушильным столом за 1 мин, кг/мин.

Из уравнений (2), (3) и (5) следует:

$$v_l * h * m_{сх\text{вых}} + v_l * h * \omega_{\text{вых}} = v_l * h * m_{сх\text{вх}} + v_l * h * \omega_{\text{вх}} - W, \quad (6)$$

где $m_{сх\text{вых}}$ - масса 1м^2 абсолютно сухого гофрокартона на входе в сушильный стол, $\text{кг}/\text{м}^2$;

$m_{сх\text{вх}}$ - масса 1м^2 абсолютно сухого гофрокартона на выходе из сушильного стола, $\text{кг}/\text{м}^2$;

$\omega_{\text{вх}}$ - масса воды, содержащаяся в 1м^2 гофрокартона на входе в сушильный стол, $\text{кг}/\text{м}^2$;

$\omega_{\text{вых}}$ - масса воды, содержащаяся в 1м^2 гофрокартона на выходе из сушильного стола, $\text{кг}/\text{м}^2$;

v_l - линейная скорость полотна гофрокартона по сушильному столу, $\text{м}/\text{мин}$;

h - ширина полотна гофрокартона, м ;

W - количество воды, выпариваемой сушильным столом за 1 мин, $\text{кг}/\text{мин}$.

Из уравнения (4) следует равенство:

$$m_{сх\text{вых}} = m_{сх\text{вх}} \quad (7)$$

Учитывая равенство (7), которое вытекает из закона сохранения массы, уравнение (6) можно записать в виде:

$$\omega_{\text{вых}} = \omega_{\text{вх}} - 1/(v_l * h * W) \quad (8)$$

Уравнение (8) содержит нелинейный компонент. Для линеаризации его необходимо разложить в ряд Тейлора по переменным W и v_l :

$$W/v_l = W_0/v_{l0} + 1/v_{l0}(W - W_0) - W_0/v_{2l0}(v_l - v_0) - 1/v_{2l0}(W - W_0)(v_l - v_{l0}), \quad (9)$$

где W_0 - некоторое фиксированное количество воды, выпариваемое сушильным столом за 1 мин, $\text{кг}/\text{мин}$;

v_{l0} - некоторое фиксированное значение линейной скорости полотна гофрокартона по сушильному столу, фиксированная линейная скорость, $\text{м}/\text{мин}$.

Выражение (9) можно записать в виде:

$$W/v_l = W_0/v_{l0} - W_0/(v_{2l0} * U), \quad (10)$$

где U - значение относительной скорости полотна гофрокартона по сушильному столу.

Подставляя в уравнение (8) выражение (10) получается уравнение:

$$W_{\text{вых}} = W_{\text{вх}} - 1/(W * v_{2,л0} * h) + W_0 / (v_{л0} * h * U), \quad (11)$$

где $W_{\text{вых}}$ - масса воды, содержащаяся в 1 м^2 гофрокартона, выходящего из сушильного стола, кг/ м^2 ;

$W_{\text{вх}}$ - масса воды, содержащаяся в 1 м^2 гофрокартона, входящего в сушильный стол, кг/ м^2 ;

$v_{2,л0}$ - линейная скорость полотна гофрокартона по сушильному столу (фиксированное значение), м/мин;

h - ширина полотна гофрокартона, м;

W - масса воды, испаряемая за 1 мин, переменное значение, кг/мин;

W_0 - масса воды, испаряемая за 1 мин, фиксированное значение, кг/мин;

U - относительная скорость полотна гофрокартона по сушильному столу.

Влага, выпариваемая за 1 мин на каждом из трех этапов сушки гофрокартона, может быть определена исходя из ряда предположений.

Во-первых предполагается, что температура по длине греющей поверхности (вдоль направления движения полотна) изменяется мало для одной секции сушильного стола, то есть интенсивность испарения вдоль одной секции сушильного стола меняется мало.

Однако, если судить по конструкции сушильных секций, это условие может не выполняться. Тогда необходимо говорить о приведенной температуре и приведенном влагоотделении, при равномерном значении величины которых вдоль одной секции стола выпаривается эквивалентное значение влаги, выпариваемой за 1 мин из гофрокартона при данном градиенте температур, настроенном с помощью вентилях вдоль одной секции сушильного стола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асмаев М.П. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие /М.П.Асмаев, Д.Л.Пиотровский - Краснодар: изд-во КубГТУ, 2009.

2. Асмаев М.П. Автоматизированное управление в технических системах: учебное пособие/ М.П.Асмаев, Д.Л.Пиотровский, А.И.Рябов - Краснодар: изд-во КубГТУ, 2002.

3. Пиотровский Д.Л. Параметры, определяющие качество процесса сушки гофрокартона / Д.Л. Пиотровский, Р.Р. Черный, С.В.Вешкин // Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского Сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции. Министерство обороны Российской Федерации, КВВАУЛ им. А.К. Серова.- 2016. - С. 98-100.

4. Пиотровский Д.Л. Математическая модель процесса сушки гофрокартона / Д.Л. Пиотровский, Р.Р. Черный // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - № 115. - С. 405-416.

5. Пиотровский Д.Л. Моделирование процесса сушки гофрокартона в первой секции сушильного стола / Д.Л. Пиотровский, В.Г. Кротов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.- 2012. - № 77.- С. 84-93.

6. Пиотровский Д.Л. Алгоритм обработки экспериментальных данных процесса сушки гофрокартона / Д.Л. Пиотровский, В.Г. Кротов // Научные труды SWorld. - 2010. -Т. 3. № 2.- С. 90-91.

7. Пиотровский Д.Л. Определение передаточных функций сушильного стола для процесса сушки гофрокартона / Д.Л. Пиотровский, В.Г. Кротов // Научные труды SWorld. - 2009. -Т. 2. 4.- С. 47-48.

REFERENCES

1. Asmaev M.P. Avtomatizirovannye informacionno-upravljajushhie sistemy: uchebnoe posobie /M.P.Aasmaev, D.L.Piotrovskij - Krasnodar: izd-vo KubGTU, 2009.

2. Asmaev M.P. Avtomatizirovannoe upravlenie v tehniceskix sistemah: uchebnoe posobie/ M.P.Aasmaev, D.L.Piotrovskij, A.I.Rjabov - Krasnodar: izd-vo KubGTU, 2002.

3. Piotrovskij D.L. Parametry, opredeljajushhie kachestvo processa sushki gofrokartona / D.L. Piotrovskij, R.R. Chernyj, S.V.Veshkin // Nauchnye chtenija imeni professora N.E. Zhukovskogo Sbornik nauchnyh statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ministerstvo oborony Rossijskoj Federacii, KVVAUL im. A.K. Serova.- 2016. - S. 98-100.

4. Piotrovskij D.L. Matematicheskaja model' processa sushki gofrokartona/D.L. Piotrovskij, R.R. Chernyj // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2016. -№ 115. - S. 405-416.

5. Piotrovskij D.L. Modelirovanie processa sushki gofrokartona v pervoj sekcii sushil'nogo stola/ D.L. Piotrovskij, V.G. Krotov// Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.- 2012. - № 77.- S. 84-93.

6. Piotrovskij D.L. Algoritm obrabotki jeksperimental'nyh dannyh processa sushki gofrokartona / D.L. Piotrovskij, V.G. Krotov// Nauchnye trudy SWorld. - 2010. -T. 3. № 2.- S. 90-91.

7. Piotrovskij D.L. Opredelenie peredatochnyh funkcij sushil'nogo stola dlja processa sushki gofrokartona / D.L. Piotrovskij, V.G. Krotov// Nauchnye trudy SWorld. - 2009. -T. 2. 4.- S. 47-48.

MATHEMATICAL MODELING OF DRYING PROCESS OF CORRUGATED CARDBOARD WITH THE ACCOUNTING SECTION OF THE DRYING TABLE

D.L. PIOTROVSKIY¹, R.R. CHERNIY²

¹ *Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: piotrovsky2005@yandex.ru*

² *Krasnodar Higher Aviation School
the name of the Hero of Soviet Union A. K. Serov
135, Dzerzhinsky street, Krasnodar, Russian Federation, 350090,
e-mail: fobos800@mail.ru*

The article describes the process of drying corrugated Board and the mathematical model. Discuss the use of the obtained model in the study process. Drying of corrugated Board, and, accordingly, a drying table is divided into two parts (actually drying and cooling). The drying part consists of three independent parts with separate personalities that allows you to divide the process of heating and drying cardboard in the drying part into three stages. It is shown that the analysis of the drying process it is necessary to talk about given the given the temperature and dehumidification, with a uniform value of which along one section of the table is equivalent to the value of evaporated moisture to evaporate for 1 min corrugated Board for a given temperature gradient, configured with valves along one section of the drying table.

Key words: Drying of corrugated board, partition table drying; mathematical model