

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ В САХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ляшенко С.А. д.т.н, Фесенко А.М.,

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Ляшенко А.С. к.т.н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В работе проведен анализ процесса выпаривания очищенного сока в выпарной установке сахарного завода. Рассмотрены вопросы, возникающие при появлении накипи в греющих трубках выпарного аппарата, в результате чего нарушается процесс выпаривания. Полученные результаты дают возможность автоматически корректировать процесс выпаривания. Определены основные показатели безопасности, позволяющие контролировать процесс выпаривания.

Введение. Сахарное производство относится к перерабатывающей отрасли в Украине и является одним из основных в сельском хозяйстве. Получения и переработка сахарной продукция сложный и довольно энергоемкий технологический процесс, в котором используется разнообразное оборудование, потребляющее значительное количество энергии. Значительную сложность в технологический процесс получения сахара вносит такая особенность, как непрерывность технологического процесса и наличие разнотипного оборудования, которое используется на сахарных заводах Украины [1, 2].

Эффективность сахарного производства в нашем государстве все еще не соответствует аналогичному производству сахара в передовых мировых странах-производителях сахара. Проблемы эффективности зависят не только из-за того, что используется разнотипное оборудование, изготовленное в различных десятилетиях, но и используемые различные автоматизированные системы управления технологическими процессами. При этом, и используемое программное обеспечение, которое разрабатывалось в различные временные промежутки, зачастую не согласовано.

Одним из вариантов повышения уровня эффективности сахарного производства является использование современных средств автоматизации и программного обеспечения, которые позволяют повысить эффективность производственных процессов, улучшить качество выпускаемой продукции, создать условия для безопасной работы, особенно при осуществлении опасных технологических процессов [3].

В сахарном производстве к таким опасным процессам относятся процессы дефекации, выпаривания, кристаллизации - где присутствуют высокие температуры, давления и различного вида опасные и вредные растворы,

применяемые в технологических процессах.

Современные автоматизированные системы управления в сахарном производстве обеспечивает качественную и эффективную работу технологических участков только при использовании комплексного подхода к решению поставленной задачи. При этом, одним из основных вопросов, при внедрении эффективных систем управления технологическими процессами является определение безопасных показателей факторов, влияющих на качество продукции, безопасность и эффективность процесса [2, 3, 4].

Анализ состояния вопроса. При определении факторов, влияющих на технологический процесс выпаривания, необходимо знать устройство оборудования, работу узлов, а также и технологию процесса выпаривания [5, 6].

Процесс выпаривания, осуществляемый в выпарном отделении, предназначен для повышения концентрации сахара в растворе, путем удаления из него воды в виде пара. Кроме того необходимо отметить, что в результате выпаривания появляется пар, который используется в других различных технологических процессах сахарного завода.

Технология выпаривания заключается в том, что поступаемый в выпарное отделение сульфитированный очищенный сок 1-й сатурации (ненасыщенный раствор сахарозы и оставшихся в нем несахаров) нагревается и происходит сгущение сока. При сгущении до пересыщения сахароза начинает осаждаться в виде кристаллов, что является конечной целью технологического процесса. Сгущение очищенного сока проводят в два этапа: сначала выпаривают воду в выпарных установках (ВУ), до состояния близкому к насыщенному, а затем в вакуумных-аппаратах до пересыщения, с последующей массовой кристаллизацией. Из очищенного сока при этом удаляется 100-115% воды к массе свеклы.

Разделение процесса сгущения сока выпариванием на два этапа обусловлено необходимостью сокращать расход теплоты в процессе выпаривания. В большинстве случаев, на первом этапе воду выпаривают в многокорпусной выпарной установке, многократно используя отработанный в турбине греющий пар (ретурный). Поэтому процесс нормализации режимов работы выпарной установки влияет, в первую очередь, на качество выпускаемой продукции, а так же и на энергоемкость всего технологического процесса получения сахара.

В большинстве своем на сахарных заводах Украины используют выпарные аппараты типа А2-ПВВ, их различные модификации, или другие, конструктивно похожие аппараты, которые представляет собой сварной цилиндрический корпус, к которому крепятся верхнее и нижнее днища. Верхнее днище приварено к корпусу, а нижнее - съемное и крепится к корпусу при помощи фланцевого соединения.

Для уменьшения объема патрубного пространства нижнее днище обращено выпуклостью вверх. Нижняя часть аппарата, ограниченная плоскими горизонтальными трубными решетками, приваренными к корпусу, с завальцованными в них кипящими трубками, образует паровую камеру.

По оси паровой камеры расположена циркуляционная труба. Паровая

камера снабжена двумя патрубками для подвода пара, тремя патрубками для отвода конденсата, которые объединены в общий коллектор с выходным патрубком, указателем уровня конденсата и четырьмя патрубками для отвода неконденсирующихся газов (два для отвода легких газов и два — для тяжелых).

Верхняя часть аппарата (выше верхней трубной решетки) образует надсоковую камеру. С целью обеспечения работы аппарата в качестве любого корпуса выпарной установки сахарного завода (т. е. как под давлением, так и под разрежением) надсоковая камера укреплена четырьмя кольцами жесткости, приваренными к корпусу.

В верхней части надсоковой камеры укреплен встроенный сепаратор жалюзийного типа, предназначенный для отделения от вторичного пара брызг и капель сока, которые отводятся из сепаратора .

Для наблюдения и контроля за уровнем сока в аппарате по высоте надсоковой камеры имеются смотровые стекла, а также стекло, установленное в наклонном патрубке, в котором вмонтирована лампа для освещения надсокового пространства аппарата.

Для автоматического регулирования уровня сока предусмотрено устройство, с помощью которого устанавливается регулятор уровня типа РУБ.

На аппарате установлены сигнальные предохранительные клапаны - на паровой камере, - на соковой, а также термометры и манометры для контроля за температурой и давлением в паровой и надсоковой камерах.

В аппарате имеются патрубки, которые предназначены для входа сока, выходной патрубком сгущенного сока входит в "циркуляционную трубу", а остальные патрубки для выхода вторичного пара, выхода воздуха, слива сока из аппарата, слива остатков сока из кольцевого зазора между корпусом и нижним днищем, подвода реагентов при химической очистке кипяtilьных трубок, а также воды при проведении гидравлических испытаний.

Аппарат снабжен лазами для проведения текущего ремонта и очистки, а также опорными лапами. Для гашения пены в аппарате (в случае ее образования) предусмотрена масленка с трубками, одна из которых соединена с паровой камерой, а другая - с надсоковой. При необходимости подачи масла открываются запорные вентили на трубках и под действием разности давлений в паровой и надсоковой камерах масло поступает в последнюю.

Сам процесс выпаривания осуществляется в аппарате таким образом: свежий сок поступает в аппарат по трем патрубкам в подтрубное пространство, смешивается с находящимся там соком и входит в нагревательные трубки, обогреваемые паром. Вскипая в трубках, сок вместе с образовавшимся вторичным паром поднимается по ним за счет разности плотностей парожидкостной смеси в трубках и сока в циркуляционной трубе. Над верхней трубной решеткой вторичный пар отделяется от сока и, пройдя сепаратор, удаляется: из аппарата, а сок поступает в циркуляционную трубу, опускается по ней вниз под нижнюю трубную решетку, вновь входит в кипяtilьные трубки и т. д. Таким образом, в аппарате сок совершает многократную естественную циркуляцию. При этом вода из раствора испаряется, а сгущенный до требуемой концентрации сок выходит из аппарата.

Пар поступает в греющую камеру через два диаметрально расположенных патрубка и, двигаясь между нагревательными трубками, конденсируется на них, отдавая свое тепло кипящему в трубках соку.

Процесс выпаривания в аппарате протекает непрерывно. Для обеспечения наибольшей эффективности работы аппарата уровень сока в нем должен находиться в фиксированных пределах. Этот уровень зависит в основном от концентрации сока в аппарате и автоматически поддерживается регулятором уровня [7].

Для оптимального осуществления технологического процесса выпаривания сока в выпарной установке обязательным условием является соблюдение заданных параметров уровня сока по корпусам выпарной станции. В случае понижения уровня в корпусе возможно закипание нагревательных трубок, что является недопустимым. В связи с этим, к точности поддержания заданного значения уровня, предъявляются очень высокие требования, и от качества регулирования уровня зависит качество работы выпарной станции. Современная система автоматизации дает возможность точного контроля и регулирования уровня путем воздействия на подачу сока и обеспечивает защиту и блокировку от переполнения [4, 6, 7].

Температурные режимы работы ВУ являются одними из важнейших параметров в технологическом режиме работы выпарной установки, соблюдение которых обеспечивает скорость и качество процесса выпаривания. В случае повышения температуры происходит интенсификация процесса образования накипи на нагревательных трубах. В случае понижения температуры значительно замедляется и нарушается технологический режим работы выпарной установки.

В ВУ ретурный пар подается только в первый корпус, а греющей средой для других корпусов ВУ является насыщенный пар, который переходит из предыдущего корпуса ВУ в греющую камеру следующего корпуса. Этим обеспечивается экономия условного топлива. Такой пар будет иметь меньшую температуру и давление. Вот почему в корпусах выпарной установки разное давление.

Следовательно, специфичность технологических сред (наличие механических включений, смолообразование, отложение твердых осадков, накипь, пенообразование, высокая вязкость и др.), высокая влажность и температура окружающей среды, создают определенные трудности при проведении безопасных режимов работы ВУ. Для получения эффективной системы автоматизации, позволяющей повысить производительность и безопасность производства, необходимо оперативно определять изменения, происходящие при работе ВУ, реагировать на эти изменения, а также поддерживать безопасность режимов работы выпарной установки, которые зависят от изменения эксплуатационных условий [7].

Цели и задачи. Определения влияния изменяющихся диаметров греющих труб, по которым проходит сок в выпарной установке, на технологический процесс выпаривания. Определение показателей безопасности, которые позволяют контролировать изменения происходящие при прохождении сока по

греющим трубкам выпарного аппарата.

Задачей работы является: определение граничных изменений размеров греющих труб, которые появляются при прохождении сока; получение соответствующих значений тепловых нагрузок аппаратов; определение мероприятий, позволяющих устранить возникающие при этом изменения в технологическом процессе.

Основная часть. Исходя из анализа состояния вопроса можно сделать вывод, что при процессе выпаривания важным параметром, влияющим на поддержание температурных режимов работы ВУ, и соответственно - расход пара, является внутренний диаметр теплообменных труб, который при происходящем процессе выпаривания уменьшается за счет появления накипи [8, 9].

Парообразование в нагревательных трубках определяется физическими свойствами раствора (главным образом вязкостью) и разностью температур между стенкой трубы и жидкостью. Чем ниже вязкость раствора и чем больше разность температур, тем интенсивнее парообразование и тем больше скорость циркуляции. Для достижения достаточной циркуляции разность температур между греющим паром и раствором должна быть в среднем не ниже 7-10° С.

Основные расчетные температурные характеристики, принятые для анализа 1-го корпуса ВУ (А2-ПВВ), приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1 - Температурные режимы работы ВУ

1. Наименование показателей	Корпус 1 ВУ
2. Температура гр.пара, град	131,9
3. Полезная разность температур, град	6,9
4. Температура кипения раствора, град.	125,0

Техническая характеристика ВУ представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Техническая характеристика ВУ

Выпарная установка	Тип, марка	Кол-во теплообменных труб	Длина теплообменных труб, м	Поверхность нагрева, м2
1 корпус	А2-ПВВ	3522	4360	1500
2 корпус	А2-ПВВ	3852	4360	1800
3 корпус	А2-ПВВ	3852	3160	1184
4 корпус	Роберта	2830	2180	800
5 корпус	Роберта	2550	200	500

Определение влияния накипи в теплообменных трубах выпарных аппаратов определялось по первому корпусу выпарной установки, так как в этом корпусе процесс выпаривания осуществляется при максимальных температурах (125 0 С) и, следовательно, будет образовываться наибольшее количество накипи в греющих трубках [7].

Появление накипи приводит к изменению коэффициента теплопередачи, который определяется следующим выражением

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к внешней стенке трубки;

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_n}{\lambda_n}$$

– суммарное термическое сопротивление стенки трубки и накипи;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки трубки к кипящему раствору [6].

В качестве материала греющих трубок используется сталь 20. Ее коэффициент теплопроводности $\lambda_m = 46,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Толщину накипи принимаем $\delta_n = 0,0005 \text{ м}$ для 1-го корпуса выпарной установки, а ее коэффициент теплопроводности - $\lambda_n = 2,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ [6].

$$\text{Значения } \sum \frac{\delta^{(1-2)}}{\lambda} = 0,000243 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad \sum \frac{\delta^{(3-5)}}{\lambda} = 0,000865 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad [6, 8, 9].$$

Как известно, поверхность теплообмена выпарного аппарата определяется из выражения [5, 8]

$$F_{1-5} = \frac{Q_1}{K_1 \cdot t_{1-5}}, \quad (2)$$

где Q - тепловая нагрузка аппарата, кВт;
 t - температура сока, °C.

Очевидно, что изменение коэффициента теплопередачи приведет к изменению поверхности теплообмена выпарного аппарата, а соответственно и режима работы всей пятикорпусной ВУ.

Результаты расчета приведенных выражений (1) и(2) представлен в таблице 3 [5].

Таблица 3 - Расчетные значения тепловой нагрузки и площадей нагрева заводской выпарной установки

Наименование	Обозначение	Корпус				
		1	2	3	4	5
1. Полезная разность температур, °C	Δt^{II}	6,9	7,3	8,41	9,6	12,0
3. Тепловая нагрузка аппарата, кВт	Q	19158	17916	8516	3734	1008
4. Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² °C	K	1860,4	1355,5	858,5	486,5	157,9
5. Поверхность теплообмена, м ²	F	1493	1811	1180	799	532
6. Число греющих трубок, шт	n	3304	3986	3602	3541	2566

При изменении суммарного термического сопротивления стенки трубки и

накипи от стандартного, принимаемого в тепловых расчетах, и соответствующего внутреннему диаметру кипяtilьных трубок 0,0033 м и среднему реальному термическому сопротивлению с внутренним диаметром кипяtilьных трубок равным 0,00315 м, мы получим соответствующие значения коэффициентов теплопередачи и реальной необходимой тепловой нагрузки для 1-го корпуса выпарной установки.

В таблице 4 приведены полученные значения тепловой нагрузки и площадей нагрева 1-го корпуса ВУ при изменении внутреннего диаметра нагревательных трубок.

Значения тепловой нагрузки и площадей нагрева 1-го корпуса ВУ при изменении внутреннего диаметра нагревательных трубок.

Таблица 4 – приведены полученные значения тепловой нагрузки и площадей нагрева 1-го корпуса ВУ

Наименование	Обозначение	1-й корпус ВУ
1. Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² °С	К1	1630, 25
2. Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² °С	К2	1228,95
3. Тепловая нагрузка аппарата, кВт	Q1	16794,32
4. Тепловая нагрузка аппарата, кВт	Q2	12660,27

Сравнивая полученные показатели, мы видим различия в расчетных и реальных значениях поверхностей нагрева корпусов ВУ (таблицы 3 и 4). Следовательно, представленные значения подтверждают заключение, что изменение диаметра нагревательных трубок ВУ приводит к изменению тепловых режимов работы ВУ, что соответственно приводит и к возникновению опасностей при эксплуатации ВУ.

Вывод. В процессе выпаривания сока в выпарных установках сахарного производства происходит изменение технических параметров нагревательных трубок - уменьшения внутреннего диаметра. В результате этих изменений увеличивается почти в 2 раза суммарное термическое сопротивление стенки трубки и накипи. Соответственно коэффициент теплопередачи уменьшается, что приводит к уменьшению тепловой нагрузки аппарата. Уменьшение тепловой нагрузки приводит к изменению температурных режимов аппарата, что означает, что будет необходимо увеличивать расход тепла, время процесса выпаривания, а это приведет к ухудшению качества выпускаемой продукции и дополнительным финансовым и энергетическим расходам. Кроме того, при определенных расчетных граничных изменениях внутренних диаметров греющих трубок, будет изменяться давление и температура в нагревательных трубках, что влияет и на показатели безопасности технологического процесса выпаривания очищенного сока.

Список используемых источников

1. Стратегия автоматизации производства сахара [Электронный ресурс] /

- В.Ю. Белоусов, А.Ф. Литвинов, О.А. Потапов, Ю.Н. Горчинский // Сахар. - 2002. - №1. - Режим доступа до журн.: <http://www.loes.ru/main/technology/tech-map.html>.
2. Яковлев О. Системы автоматизации технологических процессов сахарного производства / О.Яковлев, С. Танцюра, А. Войтюк, Ю. Рудаков, С. Латышев, В. Волков, М. Рак, Н. Круглый // Пищевая промышленность. 2000 - №1. - С.44-53.
 3. Ладанюк А.П. Розробка багатовимірних оптимальних регуляторів для об'єктів одного класу / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, О.П. Лобок // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2004. - № 1 (13). – С. 140-144.
 4. Ляшенко С.А. Выбор автоматизированных режимов работы выпарной установки сахарного завода / С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, А.М. Фесенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». Харків. Вип. 106.- 2010. - С. 217-231.
 5. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. - М.: Агропромиздат, 1986. - 436с.
 6. Малевич І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / І.Ф. Малевич, П.С. Циганков. К.:НУХТ, 2003. - 400 с.
 7. Ляшенко С.А. Определение безопасных режимов работы для автоматизированной системы управления выпарной установкой сахарного завода / С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, А.М. Фесенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. «Механізація сільськогосподарського виробництва». - Харків. Вип. 173. – 2016. – С. 39-46.
 8. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. - Л.: Химия, 1987. – 576с.
 9. Барулин Е. П. Расчеты теплоиспользующего оборудования: учеб. пособие / Е. П. Барулин, В.Н. Исаев, А.И. Сокольский. - Иван. гос. хим.– технол. ун– т. - Иваново, 2009. – 100 с.

Abstract

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE HAZARDOUS PRODUCTION FACTORS FOR THE SIMULATION OF THE EVAPORATION PROCESS IN SUGAR PRODUCTION

S. Lyashenko, A. Fesenko, A. Lyashenko

In the work the analysis of process of evaporation the purified juice evaporation unit in a sugar factory. Considers the issues arising from the build up of limescale in the heating tubes of the evaporator, resulting in impaired the evaporation process. The obtained results give the possibility to automatically correct the evaporation process. Identified key safety indicators, allowing to control the evaporation process.

Анотація

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ У ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Ляшенко С.О., Фесенко А.М., Ляшенко О.С.

В роботі проведено аналіз процесу випарювання очищеного соку в випарній установці на цукровому заводі. Розглянуто питання, які виникають при появі накипу у нагрівальних трубках випарного апарату, у результаті чого порушується процес випарювання. Отримані результати дають можливість здійснювати автоматичне керування процесу випарювання. Визначено основні показники безпеки, які дають можливість контролювати процес випарювання.