

УДК 664.1

Интенсификация рабочих процессов в утфельных вакуум-аппаратах свеклосахарного производства

В.И. Павелко, канд. техн. наук, профессор, кафедра теплоэнергетики и холодильной техники, Национальный университет пищевых технологий (Киев, Украина)

Представлены некоторые результаты промышленного испытания утфельных вакуум-аппаратов с интенсификацией рабочих процессов в них.

Ключевые слова: вакуум-аппараты, интенсификация, гидродинамический способ усиления циркуляции, испытания, анализ, оптимизация

Some results of industrial testing of massecuite vacuum pans with hydrodynamic circulation are given.

Keywords: vacuum pans, intensification, hydrodynamic method of strengthening of circulation, test, analysis, optimization

Эффективность работы вакуум-аппаратов сахарного производства зависит от интенсивности процессов тепломассообмена и циркуляции при уваривании утфеля. Наличие организованной циркуляции утфеля в вакуум-аппаратах является одним из важнейших факторов, который существенно влияет на интенсивность процессов тепломассообмена при начальном концентрировании раствора, поступающего в аппарат, и на последующую кристаллизацию сахара вплоть до получения готового конечного продукта – утфеля. Известно, что скорость циркуляции в процессе уваривания утфеля меняется от 0.5 м/с вначале до 0.001 м/с в конце варки и зависит, главным образом, от уровня увариваемого утфеля в аппарате, его концентрации и разности температур греющего пара и температуры кипения утфеля, а также от конструктивного исполнения вакуум-аппаратов [1].

Оптимальная теплотехнология уваривания утфеля в вакуум-аппаратах должна обеспечить максимальное извлечение (выход) сахара при условии минимального расхода пара, желательного наиболее низкого потенциала, на процессы сгущения (концентрирования) и кристаллизации.

К вакуум-аппаратам вне зависимости от их типа и конструктивного исполнения предъявляется ряд требований, к которым, в частности, относятся следующие:

- конструктивное исполнение греющей (паровой) камеры и поверхности нагрева такими, которые обеспечивают минимальную продолжительность процесса уваривания утфеля;
- обеспечение надежной циркуляции утфеля и недопущение появления «мертвых» зон, в которых циркуляция утфеля отсутствует;
- возможность регулирования и контроля теплотехнологического и гидродинамического режима работы аппарата.

Для увеличения скорости циркуляции утфеля были предложены и внедрены механические циркуляторы с электроприводом, устанавливаемые в опускном канале вакуум-аппарата, где частота оборотов циркулятора изменяется в зависимости от периода варки утфеля, то есть от вязкости и массового содержания кристаллов в нем. С помощью механического циркулятора было достигнуто сокращение продолжительности процесса варки от 15-20% для утфеля 1-й кристаллизации до 40-50% для утфеля 3-го за счет поддержания скорости циркуляции утфеля в процессе варки практически постоянной, близкой к 0.2 м/с [1]. Промышленные испытания вакуум-аппаратов различных типов с механическими циркуляторами подтвердили эффективность их работы и способствовали широкому внедрению этих аппаратов в сахарной промышленности многих стран мира.

Наряду с механическим способом интенсификации процесса уваривания утфелей известен и альтернативный ему гидродинамический способ усиления циркуляции в утфельных вакуум-аппаратах. Суть этого способа состоит во вдувании пара (воздуха) в кипяtilьные трубы циркуляционно-трубчатых вакуум-аппаратов с помощью специальных устройств, позволяющих подводить, распределять и смешивать вдуваемый пар (воздух) с утфелем в аппарате.

На основании выполненных исследований тепло- и гидродинамических процессов в рабочих каналах утфельных вакуум-аппаратов периодического и непрерывного действия был предложен новый способ гидродинамической интенсификации уваривания утфеля путем вдувания пара (воздуха) в каждую кипяtilьную трубу аппарата [2]. Отличие этого способа от общеизвестных состоит в следующем:

- вдувание пара (воздуха) в утфельном вертикально-трубном вакуум-аппарате осуществляется с помощью распределительного устройства струями пара (воздуха) с такой скоростью, которая позволяет диспергировать (измельчать) эти струи пара (воздуха), смешивать их с утфелем и вынести зону существования снарядно-поршневой формы течения паро(воздухо)-утфельной смеси максимально ближе к выходу из кипяtilьной трубы;
- расход вдуваемого пара (воздуха) в кипяtilьные трубы вакуум-аппарата поддерживается оптимальным на каждой стадии уваривания утфеля;
- в распределительном устройстве поддерживается повышенное давление вдуваемого пара (воздуха) по сравнению с давлением внутри аппарата для того, чтобы колебания давления в кипяtilьных трубах вакуум-аппарата не влияли на равномерность распределения вдуваемого пара (воздуха);
- направленность струй вдуваемого пара (воздуха) создается таким образом, чтобы их инжекционный эффект способствовал созданию наибольшего дополнительного движущего напора.

Новый способ гидродинамического усиления циркуляции и интенсификации процессов тепломассообмена при уваривании утфелей был реализован в промышленных вакуум-аппаратах с установкой 2-х типов устройств для усиления циркуляции: 1) с распределительной камерой; 2) с распределительным коллектором [3,4].

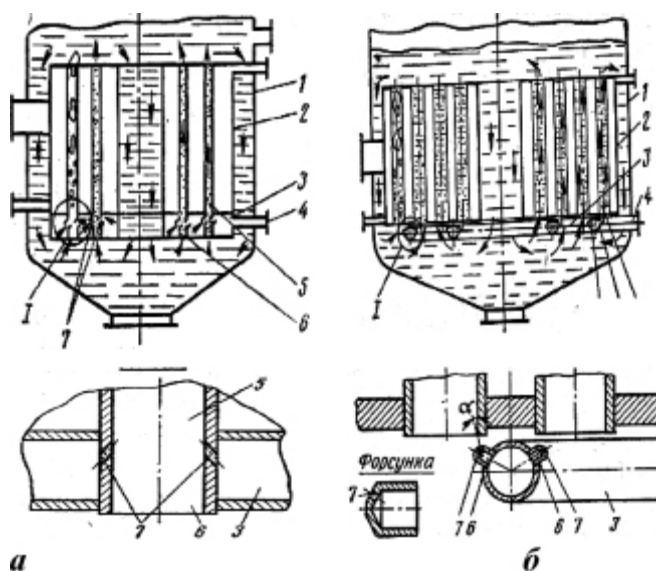


Рис. 1. Устройство для гидродинамического усиления циркуляции: а – с распределительной камерой; б – с распределительным коллектором;

1 – корпус; 2 – греющая (паровая) камера; 3а – распределительная камера; 3б – распределительный коллектор; 4 – патрубок для вдувания пара; 5 – кипяtilьные трубы; 6а – нижние концы кипяtilьных труб; 6б – форсунки; 7 – отверстия для вдувания пара.

На **рис.1** показаны схемы устройств для гидродинамического усиления циркуляции в вакуум-аппаратах с распределительной камерой (а) и с распределительным коллектором (б). Распределительная камера (рис.1, а) размещена под основной греющей камерой вакуум-аппарата. Нижние концы кипяtilьных труб основной камеры являются продолжением труб распределительной камеры, в которых высверлены отверстия под углом 15-30° к оси кипяtilьных труб. Через эти отверстия диаметром 0.8-1 мм вдуваемый пар (воздух) поступает внутрь кипяtilьных труб аппарата. В распределительном коллекторе (рис 1,б), который выполнен из труб, проложенных между кипяtilьными трубами, имеются форсунки с отверстиями для вдувания пара (воздуха). Угол наклона оси отверстий к оси кипяtilьных труб составляет 15-30°. При толщине стенки кипяtilьной трубы или форсунки в 2-3 мм такие отверстия представляют собой короткие патрубки или сопла, которые формируют суженный поток вдуваемого пара (воздуха).

Для поддержания в распределительной камере или коллекторе большего давления, чем в аппарате, недостаточно подавать в них пар(воздух) соответствующего давления. Необходимо, чтобы суммарная площадь живого сечения всех отверстий для вдувания была существенно меньше площади сечения каналов, по которым пар (воздух) подводится к ним, т.е. чтобы гидравлическое сопротивление отверстий для вдувания было больше гидравлического сопротивления канала (тракта), по которому поступает пар (воздух) в распределительную камеру или коллектор.

Такое конструктивное исполнение устройства для гидродинамического усиления циркуляции позволяет использовать потенциальную энергию давления вдуваемого пара (воздуха) на образование дополнительного движущего напора. Полезный перепад давления пара (воздуха) тратится не на преодоление гидравлического сопротивления по тракту подачи, а превращается в кинетическую энергию струй пара (воздуха) и при перемешивании передается циркулирующему утфелю. При этом, к тому же, достигается более равномерное распределение пара (воздуха) между кипяtilьными трубами, а так же более равномерная циркуляция утфеля в трубах греющей (паровой) камеры аппарата. Кроме того, при вдувании пара (воздуха) тонкими струями с большой скоростью происходит более тонкое диспергирование (измельчение) его (пара) и смешивание с утфелем, что способствует уменьшению относительной скорости пара (воздуха) и повышает действительное паросодержание в кипяtilьных трубах, а также снижает возможность образования снарядно-поршневой формы движения пароутфельной смеси. Все эти особенности разработанного способа и устройств для гидродинамического усиления циркуляции утфеля в вакуум-аппаратах повышают его эффективность.

Проведенные промышленные испытания вакуум-аппаратов с усиленной гидродинамическим способом циркуляции утфеля показали [3], что на завершающей стадии процесса уваривания достигается существенная интенсификация процесса кристаллизации путем вдувания пара (воздуха) в кипяtilьные трубы, что обусловлено значительной интенсификацией теплообмена.

В условиях естественной циркуляции утфеля интенсивность теплообмена на этой заключительной стадии процесса уваривания значительно снижается вследствие возрастания уровня утфеля в аппарате, а также вследствие роста концентрации сухих веществ, массового содержания кристаллов и вязкости утфеля.

При вдувании пара (воздуха) процесс кипения утфеля переносится в кипяtilьные трубы аппарата и, как следствие, скорость циркуляции и массовой кристаллизации утфеля возрастает.

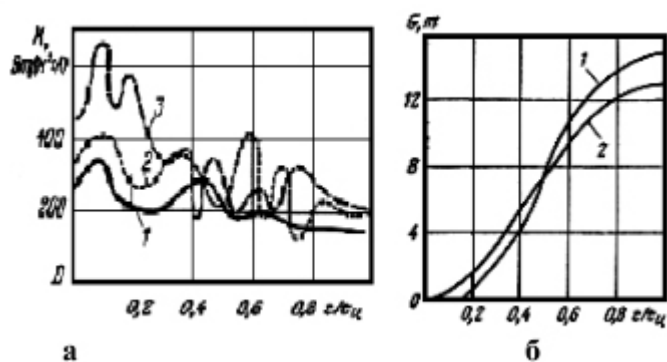


Рис. 2. Изменение коэффициентов теплопередачи (а) и скорости кристаллизации (б) при уваривании утфеля 2 – го продукта:

$a \rightarrow 1 - G_{вд} = 0$; 2 - $G_{вд} = 80$ кг/час; 3 - $G_{вд} = 120$ кг/час;
 $b \rightarrow 1 - G_{вт} = 0$; $\tau_{ц} = 305$ мин.; 2 - $G_{вд} = 180$ кг/час; $\tau_{ц} = 225$ мин.

На **рис.2** приведены графики изменения коэффициентов теплопередачи (а) и скорости кристаллизации (б) при уваривании утфеля 2-го продукта. Как видно из графика (рис.2а), на завершающей стадии уваривания утфеля 2-й кристаллизации значения коэффициентов теплопередачи при вдувании пара значительно выше, чем без вдувания. Сравнение кривых (рис.2б) массового роста кристаллов в утфеле, сваренном с вдуванием пара и без него, показывает, что интенсивность кристаллизации при вдувании пара значительно выше на начальной стадии массовой кристаллизации, что обусловлено непосредственным влиянием струй пара на образование кристаллов в утфеле.

По данным промышленного испытания вакуум-аппаратов с гидродинамическим усилением циркуляции определены оптимальные значения расхода пара на вдувание, которые находятся в пределах 10-15% от расхода греющего пара на цикл уваривания утфеля. В таблице 1 приведены некоторые результаты промышленного испытания утфельных вакуум-аппаратов с коллекторным устройством для вдувания пара в кипятильные трубы аппарата.

Таблица 1

Показатели	Кристаллизация			
	2-я		3-я	
	без вдувания	с вдуванием	без вдувания	с вдуванием
Исходная патока				
СВ, % мас.	78,2	77,7	79,7	79,1
Ч, ед.	84,0	83,0	76,1	77,8
Утфель				
СВ, % мас.	93,4	94,8	93,8	94,3
Ч, ед.	82,9	82,8	73,7	76,9
КР, % мас.	40,8	43,4	29,8	34,0
Межкристальный раствор				
СВ, % мас.	87,6	89,5	90,9	91,0
Ч, ед.	70,4	69,8	61,8	64,3
Вдуваемый пар				
Давление, кПа	-	219,5	-	205,9
Расход, кг/час	-	143,0	-	131,2

Активное время уваривания, час	4,9	3,85	9,15	5,51
Давление греющего пара, кПа	176,5	168,3	183,0	171,6
Давление в аппарате, кПа	17,4	18,5	14,0	16,4
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² К)	281,0	471,0	144,2	300,6
Кристаллы сахара				
Средний размер, мм	0,36	0,43	0,24	0,31
Скорость роста, мм/час	0,087	0,13	0,022	0,041
Степень неоднородности, %	35,5	27,6	64,3	45,0

Как видно из табл.1, при вдувании пара активное время уваривания уменьшается для утфеля 3-го продукта до 40%, для утфеля 2-го – до 25%, а интенсивность тепломассообмена возрастает до 80%.

В заключение следует подчеркнуть, что усиление циркуляции утфеля гидродинамическим способом в вакуум-аппаратах, оборудованных устройствами для вдувания пара, позволяет интенсифицировать процессы теплообмена при уваривании утфеля и использовать, таким образом, в вакуум-аппаратах пар более низкого потенциала, что, в свою очередь, создает возможность внедрения прогрессивной теплотехнологической схемы сахзавода с полным и эффективным использованием вторичных энергоресурсов и снижением расхода пара на технологические нужды на 7-10%.

Рассмотренные в статье основные положения касательно гидродинамического способа усиления циркуляции в утфельных вакуум-аппаратах позволяют разрабатывать методы оптимизации и интенсификации рабочих процессов в циркуляционных вертикально-трубных вакуум-аппаратах различных конструктивных схем.

Список литературы:

1. *Интенсификация процесса уваривания утфелей* / В.Т. Горяжа, Ю.Г. Артюхов и др. / – М: Легкая и пищевая пром-сть, 1981, – 152 с.
2. *Интенсификация процесса уваривания утфелей в вакуум-аппаратах* / [В.Т. Горяжа, Ю.Г. Артюхов, В.И. Павелко и др.] – Сахарная промышленность, 1975, № 1, С. 14-17.
3. *Испытания вакуум-аппаратов с гидродинамическим усилением циркуляции* / [В.Т. Горяжа, Ю.Г. Артюхов, В.И. Павелко и др.] – Сахарная промышленность, 1975, № 8, С. 15-20.
4. *Вакуум-аппарат А2 – ПВУ - 40* / [В.Т. Горяжа, Ю.Г. Артюхов, В.И. Павелко и др.] – Сахарная промышленность, 1977, № 12, С. 27-30.