

Влияние конструктивных особенностей гидроциклонного аппарата на процесс осветления пивного сусла

Леся Марцинкевич, Максим Шпак, Дмитрий Рындюк, Сергей Удодов

The impact of whirlpool construction for the clarification of wort. During the boiling of wort formed a significant amount of suspended particles. They have adversely affect from the brewing process. They must be removed before fermentation. For The quality of the process of clarification of wort effect dependent of process parameters and equipment design that used for clarification. For the purpose of determination of fractional construction parameters of Whirlpool were investigated the main factors that have affect for the quality of the process.

Key words: hydrocyclone apparatus, beer wort, lighting, suspended particles, concave bottom, convex bottom, flat bottom.

ВВЕДЕНИЕ

Перед брожением из горячего охмеленного сусла необходимо удалить значительное количество взвешенных частиц, образовавшихся в процессе кипячения, которые негативно влияют на дальнейший процесс приготовления пива, а именно: снижают скорость брожения, затрудняют фильтрацию пива и ухудшают вкусовые качества готового напитка.

Взвешенные вещества горячего охмеленного сусла, которые называют брухом, представляют собой преимущественно скоагулированные белки, а также горькие хмелевые продукты. Они довольно крупные, размер их составляет 30 – 80 мкм [1].

Количество взвешенных веществ после перекачки горячего охмеленного сусла составляет 6000 - 8000 мг/л, и оно должно быть уменьшено после их удаления до 100 мг/л [1]. Однако целью является полное удаление взвешенных веществ из горячего сусла.

Недостаточное удаление взвешенных веществ обусловлено рядом как технологических параметров ведения процесса, так и качественных показателей продукта, а именно: неправильное ведение процесса фильтрации пивного затора и внесения хмеля, который не содержит или содержит недостаточное количество дубильных веществ, плохое качество солода и неоптимальный состав его помола. Но существенно на качество процесса осветления пивного сусла влияет также и несовершенство оборудования, используемого для осветления.

Удаление взвешенных веществ горячего сусла осуществляется сегодня на большинстве пивоваренных предприятий преимущественно с помощью гидроциклонного аппарата (вирпула). На некоторых из них имеет место осветление сусла с помощью сепаратора (центрифуги), однако данный метод не получил широкого распространения из-за своей сложности и высокой стоимости.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Исследование процесса осветления пивного сусла проводилось в программном комплексе, основанном на методе конечных объемов, предназначенном для моделирования трехмерных течений жидкостей и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики.

Аналитическая модель процесса осветления пивного сусла базируется на следующих уравнениях:

- уравнение Навье-Стокса:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho}(\mu + \mu_t) [\nabla V + (\nabla V)^T] + \left(1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho}\right) g,$$

- уравнение неразрывности потока:

$$\nabla V = 0,$$

где V – вектор относительной скорости, м/с;

t – время, с;

P – относительное давление, Па;

ρ – плотность, кг/м³;

μ , μ_t – соответственно динамическая и турбулентная вязкость, Па·с;

ρ_{hyd} – гидростатическая плотность, кг/м³;

g – вектор силы тяжести, м/с².

А также на использовании k - ε модели турбулентности первого уровня замыкания, при применении которой для замыкания системы необходимо получить формулу для коэффициента турбулентной вязкости μ_t . В настоящее время для достижения этой цели чаще всего используют так называемые двухпараметрические модели. Так они называются потому, что в них μ_t определяется через два параметра, для которых решаются дополнительные дифференциальные уравнения в частных производных [2]:

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Кроме того, в модель входят уравнения для турбулентной энергии k и скорости диссипации турбулентной энергии ε :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left[\left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right] \nabla k \right] + \mu_t G - \rho \varepsilon,$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V \varepsilon) = \nabla \left[\left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right] \nabla \varepsilon \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k},$$

где через G обозначено уравнение:

$$G = D_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j},$$

$$D_{ij} = S_{ij} - \frac{2}{3} \left[\nabla \cdot V + \frac{\rho k}{\mu_t} \right] \delta_{ij},$$

$$S_{ij} = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i}.$$

Значение параметров равно[3]:

$$\sigma_k = 1; \sigma_\varepsilon = 1.3; C_\mu = 0.09; C_1 = 1.44; C_2 = 1.92.$$

Гидроциклонный аппарат (рис. 1) представляет собой цилиндрическую емкость 1 с конической крышкой и плоским дном, а также тангенциально расположенным в нижней части аппарата патрубком для подачи суслу 2.

Принцип быстрого отделения грубых и тонких взвешенных частиц состоит в том, что горячее сусло с относительно большой скоростью подается насосом в гидроциклонный аппарат по касательной. Под действием центробежной силы нерастворимые частицы сусла осаждаются в виде конуса внутри дна.

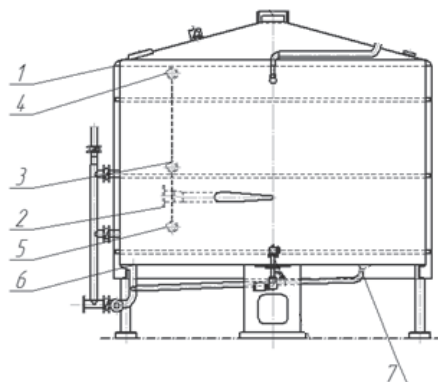


Рис. 1. Гидроциклонный аппарат (вирпул)

Осветленное сусло, через некоторое время, удаляется через патрубки для спуска осветленного сусла 3, 4, 5, мутное сусло - через патрубок 6 для спуска мутного сусла, а осадок размывается водой и спускается через патрубок 7, расположенный в днище аппарата.

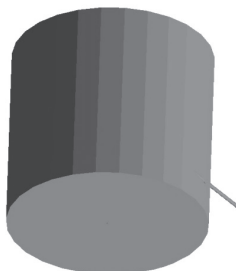
Практические исследования и наблюдения за гидроциклонным аппаратом позволило определить, что его оптимальная работа зависит не только от качественных показателей горячего сусла, но и от скорости его подачи, геометрии емкости, а также конструктивных параметров и расположения патрубков для подачи и спуска сусла.

С целью определения рациональных параметров конструкции гидроциклонного аппарата целесообразно исследовать все основные факторы, влияющие на качество процесса осветнения.

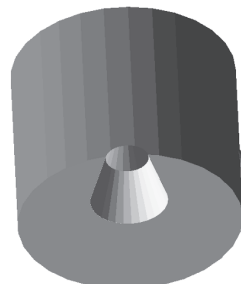
При моделировании гидроциклонного аппарата задавались такими начальными параметрами:

- скорость на входе в аппарат - 3,5 м/с; [4, 5]
- плотность сусла – 1045 кг/м^3 ;
- динамическая вязкость сусла - $0,0006 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- размеры частиц - $30 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $42,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $57,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $80 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Исследование влияния скорости подачи сусла в аппарат на процесс осветнения проводилось на следующих моделях гидроциклонного аппарата: с классической формой днища (плоское) (рис. 2а), конической вставкой (рис. 2б), двумя цилиндрическими вставками и подачей сусла на каждую из вставок (рис.2в), с коническим днищем и радиальными направляющими вставками (рис. 2г).



а)



б)

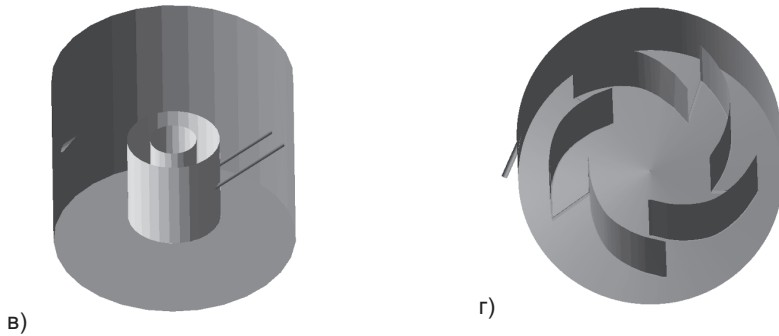


Рис. 2. Модели гидроциклонного аппарата (вирпула)

Визуализация движения суслу внутри гидроциклонного аппарата (вирпула) показана на примере аппарата простой конструкции, которая является наиболее применяемой на предприятиях (рис. 3). Анализируя данные можно утверждать, что сусло в аппарате приобретает вращательное движение, которое обеспечивается тангенциально установленным патрубком подачи продукта. Образованный вихревой поток способствует тому, что частицы оседают, образуя тарелку белкового осадка.

Наибольшая концентрация частиц находится в середине у дна аппарата (рис. 3б).

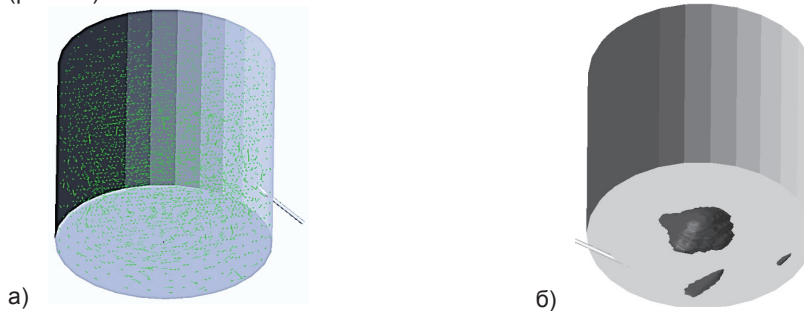


Рис. 2.Траектории движения (а) и распределение концентрации частиц (б) в аппарате

Как уже отмечалось, важную роль в процессе осветления играет скорость подачи суслу в аппарат, то есть скорость на выходе из сопла входного патрубка. Если скорость превышает 3,5 м/с [3], то продукт испытывает значительные касательные напряжения, что приводит к образованию мелкодисперсных частиц, которые в гидроциклонном аппарате не осаждаются. Если же величина скорости меньше рекомендованной [3], возможно возникновение вторичных вихревых потоков, которые могут препятствовать основному потоку, а значит и выделению взвешенных веществ.

Понятно из вышесказанного, что правильно подобранная начальная скорость подачи суслу в аппарат (с учетом дальнейшего ее уменьшения в процессе осветления), значительно влияет на эффективность работы гидроциклонного аппарата.

Для вышеуказанных вариантов конструкционного исполнения гидроциклонных аппаратов (вирпулов), проанализированы циркуляционные зоны, возникающие в аппарате при тангенциальной подачи суслу.

Анализ полученных результатов показал возникновения нежелательных вторичных циркуляционных вихрей в вариантах исполнения 1, 2 и 3, препятствующие эффективному осаждению белкового осадка (рис.4).

Причем, в варианте исполнения 1 нежелательные вторичные циркуляционные вихри возникают в центральной и верхней зонах аппарата. В вариантах 2 и 3 циркуляционные вихри возникают в нижней зоне аппарата, что приводит к разрушению конуса белкового осадка и взбалтыванию пивного суслу. В четвертом варианте исполнения вышеуказанные недостатки на порядок меньше.

Также было исследовано касательные напряжения (τ), которые возникают в сусле во время его подачи. Согласно данным [3], при превышении значения $\tau \geq 50$ Па начинается разрушение частиц белкового осадка.

При проведении математического моделирования получены результаты, свидетельствующие о том, что в вариантах исполнения 1 и 4 значения касательных напряжений не превышают допустимое значение (соответственно 26 и 47 Па), а в вариантах 2 и 3 это значение превышает допустимое в разы (соответственно 176 и 440 Па).

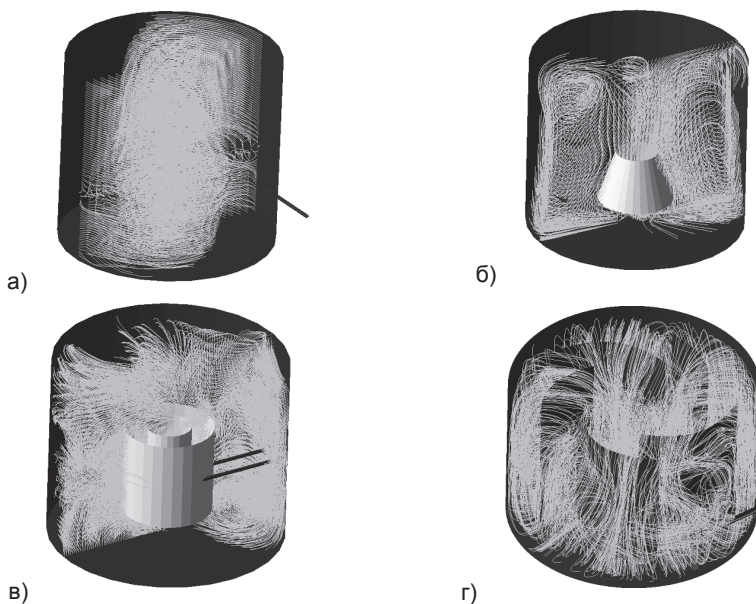


Рис. 4. Траектории движения частиц в аппарате классической формы дна (плоское) (а), конической вставкой (б), двумя цилиндрическими вставками и подачей суслу на каждую из вставок (в), с коническим дном и радиальными направляющими вставками (г)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты анализа исследованных вариантов исполнения гидроциклонного аппарата (вирпула) доказывает целесообразность подачи рекомендаций для внедрения в производство именно для варианта исполнения 4 -

гидроциклонного аппарата с коническим днищем и радиальными направляющими вставками. В дальнейших исследованиях планируется провести анализ влияния качества освещения пивного сусла от геометрических размеров радиальных направляющих вставок, высоты размещения вставки над днищем аппарата, количества патрубков подачи пивного сусла и скорости подачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кунце, В. Технология солода и пива / В.Кунце. – С-Пб.: Профессия, 2008. – 1100 с.
- [2] Шпак, М.С. Моделюванняяз амішуваннятіста та визначення раціональнихпараметрівробочихорганівтістомісильних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Шпак Максим Сергійович. - НУХТ. - К., 2015. – 192 с.
- [3] Денк, В. Вирпул. Уровень техники в 1997 году / В. Денк // Brauwelt: Мир пива. - 1998. - №1. - С. 30-37.
- [4] Федоренко, Б.М. Пивоваренная инженерия: Технологическое оборудование отрасли / Б.М. Федоренко. – С-Пб.: Профессия, 2009. – 1000 с.
- [5] Бемфорт, У. Новое в пивоварении / У. Бемфорт. – С-Пб.: Профессия, 2007.– 520с.

Для контактов:

Асистент Леся Валентиновна Марцинкевич, кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина, e-mail: lv.martsinkevich@gmail.com;

Доцент, кандидат технических наук Максим Сергеевич Шпак, кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина, e-mail: shpakm82@gmail.com;

Доцент, кандидат технических наук Дмитрий Викторович Рындюк, кафедра теоретической механики и ресурсозберегательных технологий, Национальный университет пищевых технологий, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина, e-mail: rel_dv@ukr.net;

Доцент, кандидат технических наук Сергей Александрович Удодов, кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина, e-mail: kiypivo@gmail.com.

Доклад был рецензирован