

Капустенко П.А., Демирский А.В., Хавин Г.Л.

### ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТЫХ И СПИРАЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА СТАДИИ РАЗВАРИВАНИЯ И ОСАХАРИВАНИЯ В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Большинство спиртовых заводов Украины требуют технической модернизации в первую очередь из-за низкой энергетической эффективности установленного оборудования. В настоящих условиях, с ростом цены на первичное топливо, на спиртовых предприятиях как никогда остро стоят вопросы энергосбережения. Как для выпуска пищевого спирта, так и для организации производства технического этанола (или переводе спиртового завода, который вырабатывал пищевой спирт на выпуск этанола) необходимо пересмотреть всю технологическую цепочку. Безусловно, в первую очередь, реконструкции подлежит отделение брагоректификации, как потребляющее наибольшую часть энергии. Однако остальные энергопотребляющие звенья производства также требуют модернизации оборудования.

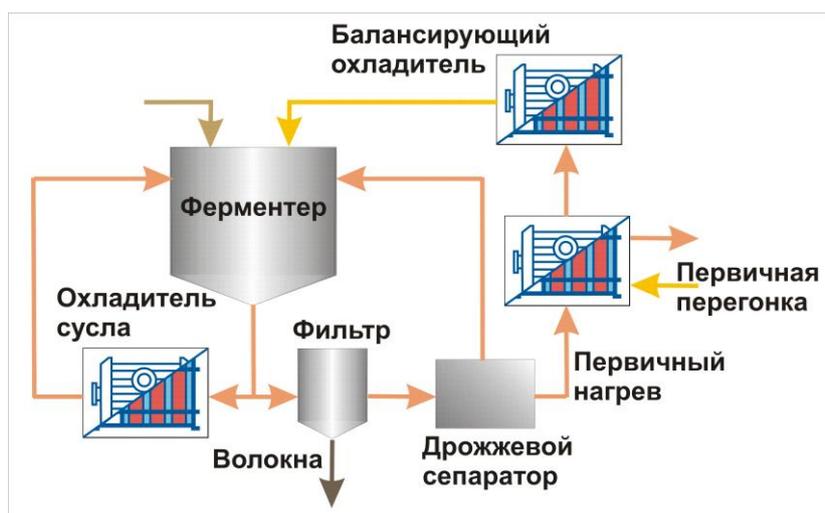


Рисунок 1 – Схема установки теплообменников в процессе непрерывно-поточного метода ферментации

Перспективы наращивания выпуска производства технического этилового спирта также требуют снижения энергоемкости, так как на старом оборудовании затраты на его производство будут настолько велики, что по цене этиловый спирт не сможет конкурировать с другими видами топлив. Таким образом, под производство технического этанола на заводах Украины необходимо модернизировать оборудование с точки зрения тепло и энергосбережения.

Согласно технологии непрерывного разваривания [1], перед тем как разваренное крахмалистое сырье направить на брожение, его необходимо охладить до температуры осахаривания, смешать с ферментами и, далее охладить до температуры «складки» – до температуры, при которой осахаренное сусло подается в бродильные чаны, рис. 1.

На большинстве украинских спиртовых заводах разваренная масса с температуры 90–95 °С (иногда 102–105 °С и выше) охлаждается до температуры 58–60 °С, при которой происходит осахаривание, которое обычно производят непрерывным способом с вакуум-охлаждением разваренной массы. Используют выносной вакуум-охладитель, в котором проводят осахаривание после охлаждения разваренной массы в отдельной вакуум-выпарной камере. Разряжение в ней поддерживается на уровне 80–82 кПа, температура массы в камере очень быстро уменьшается с температуры 104–107 °С до 60–62 °С. Кроме осахаривания с выносным вакуум-охлаждением применяются схемы осахаривания с механоактивацией ферментов сусла и осахаривание осветленного сусла, с использованием процесса ультрафильтрации [1].

Охлаждение до температуры «складки» (18–25 °С) производится в теплообменнике типа «труба в трубе» или крайне редко в оросительном теплообменнике водой через поверхность теплообмена. На рис. 1 это «позиция охладитель сусла». Сусло для дрожжей подается из осахаривателя без охлаждения.



Рисунок 2 – Ширококанальный и спиральный теплообменники фирмы «Альфа Лаваль»

Теплообменник типа «труба в трубе» представляет собой ряд двойных труб. По внутренней трубе протекает сусло, а по кольцевому пространству между внутренней и наружной трубой проходит противотоком охлаждающая вода. Диаметр внутренней трубы выбирается не менее 75 мм, скорость сусла в трубе в пределах 0,3–1,0 м/с, воды – 1,0–1,5 м/с, коэффициент теплопередачи находится в пределах 465–569 Вт/(м<sup>2</sup>·К), в зависимости от степени загрязнения теплопередающих поверхностей [2]. Фактически это огромное сооружение из металлических труб с низким коэффициентом теплопередачи.

Внедрение энергосберегающих мероприятий опирается, на замену устаревшего теплообменного оборудования новым энергетически эффективным оборудованием. Прежде всего, это относится к замене теплообменников типа «труба в трубе» на позиции охлаждения сусла на ширококанальные пластинчатые или спиральные теплообменники [3], рис.2. Ширококанальные аппараты выпускаются с двумя типами пластин, с односторонним широким каналом и широкими каналами по обеим сторонам, рис. 3.

Установка таких аппаратов объясняется, прежде всего, тем, что сусло обладает высокой вязкостью, которая определяется составом используемого сырья. Для работы украинских спиртовых заводов возможно использование в замесе ржи, которая придает замесу повышенную вязкость. Кроме того, некачественный помол способствует наличию крупных частиц в значительной степени увеличивающих вязкость сусла и вероятность закупоривания каналов теплообменных аппаратов.

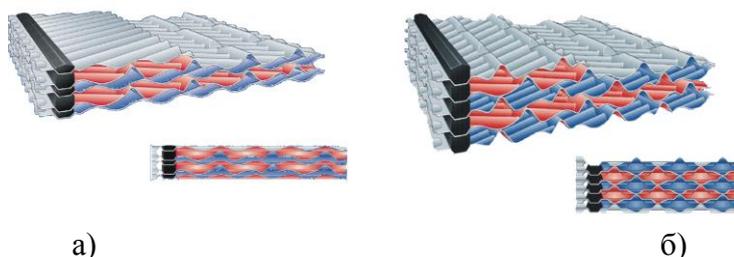


Рисунок 3 – Пакет пластин ширококанального теплообменника фирмы «Альфа Лаваль»: а) одностороннего; б) двустороннего

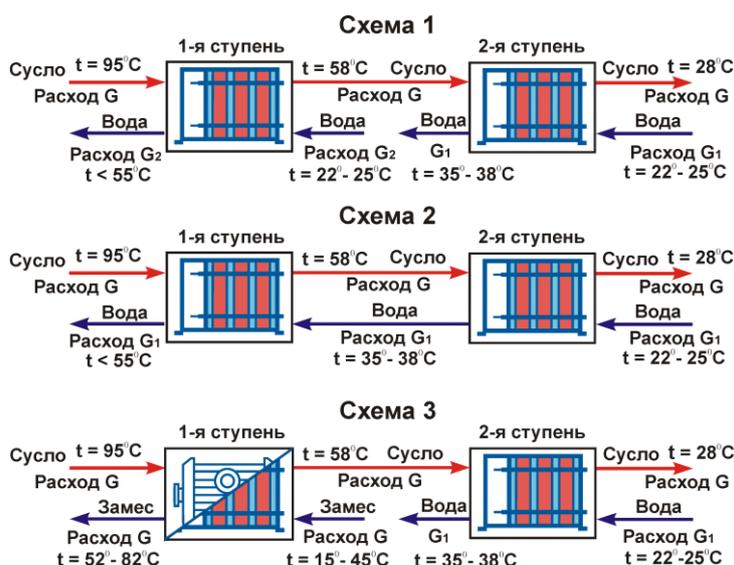


Рисунок 4 – Схемы установки пластинчатых теплообменных аппаратов на позиции охлаждения сусла

Опыт реконструкции отделения разваривания спиртовых заводов, а именно на позиции двухступенчатого охлаждения сусла с 102–95 °С до 25–28 °С показывает, что получили распространение в основном три схемы установки теплообменных аппаратов, рис. 4.

Для первой схемы характерно охлаждение первой и второй ступени водой раздельно. При этом в качестве расчетной температуры охлаждающей воды принимается летняя температура оборотной воды 22 °С (для южных районов до 25 °С). Главным преимуществом такой схемы являются низкие капитальные затраты на реконструкцию, так как на первой ступени площадь теплообмена ширококанального пластинчатого аппарата мала и, следовательно, невысока и его стоимость. Более того, на первой ступени, где при высокой температуре вязкость меньше возможно применение пластинчатых теплообменников с обычной шириной канала, стоимость которых примерно вдвое меньше чем ширококанальных. На второй ступени устанавливается пластинчатый ширококанальный аппарат. В качестве недостатков можно отметить повышенный расход оборотной воды и отсутствие рекуперации тепла, т.е. фактически отсутствие прямого энергосбережения, если не считать возможного дальнейшего использования низкотемпературной оборотной воды.

Применение второй схемы, близкой по технологии к первой, позволяет одним и тем же количеством оборотной воды производить охлаждение сусла сначала на второй, а затем на первой ступени. Использование такой схемы позволяет экономить оборот-

ную воду не перегревая ее свыше 60 °С на первой ступени (во избежание интенсивного отложения накипи на пластинах) получать горячую воду с температурой 55 °С. Пластинчатый ширококанальный аппарат на первой ступени будет иметь несущественно большую площадь теплообмена по сравнению с аппаратом для первой схемы. Для этой схемы также возможна установка традиционного пластинчатого теплообменника со стандартной шириной канала.

Следует заметить, что для схем охлаждения водой наиболее эффективной является схема с использованием артезианской воды, которая имеет низкую постоянную температуру. Применение артезианской воды позволяет существенно уменьшить площадь теплообменных аппаратов (следовательно, их стоимость), экономить общее потребление воды и дает возможность оборудованию работать в режиме, не зависящем от входной температуры по стороне охлаждения.

Третья схема реализует прямое энергосбережение так, как сусло на первой ступени охлаждается замесом, рис. 4. При этом возможна установка на этой позиции пластинчатого ширококанального аппарата с широким каналом по охлаждаемой и нагреваемой стороне или спирального теплообменника. Расход замеса на охлаждение обычно принимается таким же, как и расход сусла. Температура замеса на выходе из теплообменника зависит от температуры на входе (15–45 °С). Главным преимуществом такой схемы является рекуперация тепла на первой ступени, что значительно снижает эксплуатационные расходы. Однако возрастают прямые капитальные вложения, так как стоимость теплообменного аппарата на первой ступени увеличивается. На второй ступени охлаждение, как и в предыдущих схемах, производится оборотной водой. Такая схема охлаждения сусла реализована на Немировском спиртовом заводе, рис. 5.



Рисунок 5 – Спиральные и ширококанальные теплообменные аппараты «Альфа Лаваль», установленные на новом спиртовом заводе в г. Немирове

Практика попыток рекуперации тепла по схеме охлаждения сусла замесом, столкнулась с рядом существенных трудностей, суть которых сводится к следующему. При нагревании замеса, начиная с температуры примерно 60 °С происходит резкое увеличение вязкости, связанное с «желатинизацией» продукта. В течение некоторого промежутка времени вязкость увеличивается в сотни раз, и это явление происходит вплоть до температуры примерно 80 °С. После этого вязкость стабилизируется и даже начинает уменьшаться. В теплообменниках резко падает скорость движения теплоносителя и, как следствие, теплоотдача, и возрастают гидравлические потери. Даже описанная качественная картина, происходящая в спиральном или ширококанальном теплообменнике, требует внесения корректив в практику проектирования аппаратов для этой пози-

ции. Главной проблемой здесь является отсутствие достоверных данных по физическим свойствам замеса, в первую очередь вязкости, для данных температур.

В заключение можно сделать следующие выводы. Для всех трех схем на второй ступени устанавливаются ширококанальные пластинчатые аппараты с широким каналом по стороне охлаждаемого суслу и с широкими каналами по обеим сторонам при охлаждении суслу замесом. Для каждой схемы на любой ступени возможна установка спирального теплообменника, гарантирующего бесперебойную работу и энергосбережение.

Необходимо отметить преимущества использования спиральных или ширококанальных теплообменников в схеме предварительной обработки зерна. Во-первых, коэффициент теплопередачи находится в пределах 1800–2100 Вт/(м<sup>2</sup>·К), что в несколько раз выше, чем у теплообменника «труба в трубе». Во-вторых, имеет место существенная экономия производственных площадей, сделать размещение оборудования более компактным. Это позволяет существенно упростить техническое обслуживание и сократить его время. В-третьих, использование спиральных или ширококанальных теплообменников позволяет также минимизировать вероятность инфицирования суслу микроорганизмами, что существенным образом сказывается на качестве спирта и его выходе. В-четвертых, охлаждение суслу замесом представляет собой прямую рекуперацию тепла и, несмотря на значительные капитальные вложения, дает наибольший выигрыш в смысле энергосбережения. В-пятых, применение ширококанальных аппаратов, в том числе с широким каналом по обоим теплоносителям, по всей видимости, предпочтительней спиральных в силу простоты очистки и обслуживания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта ЕСОРНОС, контракт № INCO-СТ-2005-013359.

#### Литература

1. Технологія спирту / Під ред. проф. В.О. Маринченка. – Вінниця: „Поділля-2000”, 2003.– 496 с. (укр.)
2. Реконструкция спиртовых заводов: (Технол. проектирование) / В.Н. Швец, В.А. Маринченко, В.В. Герасименко и др./ Под ред. П.С. Цыганкова – Киев: Техніка, 1978.– 208 с.
3. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2004.– 232 с

УДК 661.72

Капустенко П.О., Демірський О.В., Хавін Г.Л.

### **ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТА СПІРАЛЬНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ НА СТАДІЇ РОЗВАРЮВАННЯ ТА ОЦУКРЕННЯ У СПИРТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Розглянуто проблеми енергозберігаючої модернізації відділення оцукрювання розвареної маси і подальшого охолодження суслу із застосуванням пластинчастих ширококанальних та спіральних теплообмінних апаратів виробництва фірми «Альфа Лаваль». Наведено схеми реалізації двохступінчастого встановлення апаратів такого класу. Сформульовані проблеми, що виникають при встановленні рекуперативних апаратів на цій позиції. Зроблено висновки з практики проектування і експлуатації ширококанальних та спіральних теплообмінників що до нагріву замісу сусллом.