

Для получения ХТС использование связующего с высоким модулем не рекомендуется, так как живучесть смеси резко снижается и получить в лабораторных условиях смесь практически не удается.

Для жидкоподвижных смесей с феррохромовым шлаком необходимо готовить жидкую композицию с удельным весом 1,31 г/см³.

Для проведения промышленных испытаний комплексное минеральное связующее получали в условиях Сумского завода «Центролит», при этом во вращающийся автоклав загружали расчетное количество компонентов для варки связующего с модулем, равным 2,5, с заменой 10% силикат-глыбы диатомитом по следующей рецептуре:

силикат-глыба – 900 кг; диатомит – 150 кг; едкий натр (48% раствор) – 160 л; вода – 1000 л.

Было также приготовлено комплексное минеральное связующее с заменой 20% силикат-глыбы.

ВЫВОДЫ

Полученные промышленные образцы КМС прошли успешное испытание в условиях завода «Центролит», что позволяет сделать вывод о возможности промышленного способа получения жидкого стекла одностадийным методом с учетом сырьевых запасов диатомита и трепела на Украине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П. А. Борсук, А. Л. Лясс. Жидкие самотвердеющие смеси / М.: Машиностроение, 1979.
2. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко и др. К.: Выща школа, 1990.
3. Борсук П. А., Буденный А. П. Патент России 2064431. Бюллетень изобретений России №21/1996 г.

Пост упила в редакцию 6 декабря 2005 г.

УДК 66.021.3

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАССОБМЕНА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА.

В.Л. Куценко

Современное состояние социально-природной среды в условиях развивающегося энергетического кризиса вызывает необходимость изменения подхода к экономическому развитию в целом. Постоянное повышение потребности в природных ресурсах, в том числе и энергетических, а в конечном счете и самой энергии, обусловлено увеличением численности населения и постоянным ростом производства в таких условиях, что темпы внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий значительно отстают от наращивания производственных мощностей.

Совершенно очевидно, что для преодоления критичного состояния экономическо-производственного комплекса необходим детальный анализ каждого конкретного вида производственной деятельности, который был бы направлен на изыскание возможностей снижения техногенного воздействия на экосферу и на внедрение новых прогрессивных технологий, которые обеспечат снижение природоемкости производства. Снижение природоемкости техногенного комплекса будет заключаться с одной стороны в ресурсосбережении и в повышении основных экономических показателей, а с другой – в снижении поступления в окружающую природную среду веществ, загрязняющих ее. Это снижение может достигаться внедрением так называемых малоотходных и безотходных технологий в производстве, использованием вторичных

ресурсов и отходов производства как сырьевой базы для производственных процессов. При этом должно соблюдаться условие интенсивного развития производства, прогрессирующей экономии ресурсов и увеличения сбалансированности техноэкологического комплекса.

Большинство современных производственных технологических систем представляют собой схемы с входом в виде ресурсов и энергии и выходом в виде продукции и производственных отходов, которые зачастую характеризуются с экологической точки зрения как опасные для природной среды. На данный момент существует возможность перехода технологических схем некоторых производств на полукоткрытый тип с частичной утилизацией отходов производства в качестве вторичного сырья – это малоотходная система с очевидными экологическими выгодами и снижением техногенного воздействия на естественные природные комплексы. В будущем не исключается возможность перехода производственных систем на замкнутый тип, который бы характеризовался входом ресурсов и энергии и выходом готовой продукции, при этом отходы производства получают возможность полной переработки и утилизации непосредственно в производственном цикле. Преобразование и перевооружение техносистем на новые природосберегающие технологии должны производиться с учетом всех вышеперечисленных факторов.

На сегодняшний день при производстве этилового спирта, равно как и в химической и нефтехимической промышленности, эксплуатируется высотное колонное оборудование, которое отличается большой материалоемкостью, и металлоемкостью в частности. С развитием новых технологий в условиях развивающегося эколого-экономического кризиса встает вопрос понижения материалоемкости оборудования, экономичного использования сырья, энергетических ресурсов и минимизации риска возникновения экологических катастроф. При этом самым важным вопросом является интенсификация технологических процессов, в том числе переработки отходов и вторичного сырья, и создание для этого малогабаритного и экономичного оборудования, что соответствует современной ситуации.

Так, в процессе перегонки бражки и ректификации спирта получают отходы и побочные продукты, одним из которых является эфиральдегидная фракция (ЭАФ). В состав ЭАФ входят различные компоненты, качественный и количественный состав которых различается, главным образом, в зависимости от вида сырья от 18 до 23 компонентов. Этот продукт, кроме примесей, содержит этиловый спирт, концентрация которого превышает 90% (мас.), а его выход в процессе брагоректификации на заводах Украины составляет приблизительно 1,5-5%. Таким образом, ЭАФ представляет собой многокомпонентную смесь этилового спирта с летучими примесями в соотношении, которое зависит от концентрации последних. На основании проведенных теоретических исследований Цыганковым был разработан способ выделения этилового спирта с ЭАФ в условиях спиртовых заводов. Сущность предлагаемого способа состоит в том, что постоянно действующая ректификационная или брагоректификационная установка дополняется колонным оборудованием для разгонки ЭАФ. В технологическом процессе ЭАФ отбирается, и в дополнительной колонне за счет гидроселекции происходит деление ЭАФ на два продукта: верхний – концентрат эфиров, альдегидов и других летучих примесей (КЭАФ) и нижний – водно-спиртовой раствор с малой концентрацией. Нижний продукт сбрасывается в бражку, таким образом спирт направляется в производственный цикл, а верхний продукт отбирается как побочный отход производства.

Такая схема дает возможность практически целиком изъять этиловый спирт из ЭАФ, а побочные примеси получить в концентрированном виде, причем все побочные примеси выводятся в виде одного продукта, который упрощает их сохранение и транспортирование. Кроме того, извлечение этилового спирта из ЭАФ позволяет сократить объем отходов спиртового производства головного характера практически на порядок.

Многолетний опыт эксплуатации разгонных колонн показал надежность и эффективность этого способа выделения спирта с ЭАФ. Выход спирта на спиртовых заводах, оснащенных разгонной колонной, и тех, что переделывают мелассу, составляет 98,5% от содержимого в бражке.

Однако установка разгонных колонн целесообразна на средних и больших заводах. На заводах производительностью меньше 3 тыс. дал/сут установка разгонных колонн экономически нецелесообразна.

Таким образом, сегодня значительное количество спиртовых заводов Украины вынуждены отправлять отходы производства, в частности ЭАФ, на предприятия, которые имеют установки для их централизованной разгонки, то есть имеют технологические схемы так называемого открытого типа с характерными отходами производства.

Использование многокомпонентных отходов производства этилового спирта как вторичного сырья, в частности ЭАФ, непосредственно на предприятиях, где происходит их образование, предполагает выделение из состава отходов отдельных компонентов с получением ценных целевых продуктов и снижение риска загрязнения окружающей среды, который связан с их транспортировкой, однако при этом возникает необходимость создания технологии переработки многокомпонентных смесей с близкими температурами кипения и значениями относительной летучести. Это предполагает необходимость проведения тонкой ректификации на экономичном и высокоинтенсивном массообменном оборудовании для выделения отдельных фракций отходов спиртового производства как готовой продукции, что позволяет охарактеризовать такую технологию как экологичную и малоотходную.

Анализируя возможные пути интенсификации процессов массообмена в системах газ(пар)-жидкость, которые есть основными при производстве спирта, обнаруживается, что использование модернизированного тарельчатого и насадочного колонного оборудования не обеспечивает достаточного повышения удельной эффективности и мощности и не позволяет проводить необходимые процессы для децентрализованной переработки отходов производства этилового спирта.

Одним из путей решения поставленной задачи есть организация взаимодействия фаз в поле центробежных сил. Данный способ конструктивно реализуется в роторных ректификационных аппаратах (РРА), которые позволяют достичь высокой степени деления при сравнительно небольших габаритных размерах, энергетических затратах и низкой металлоемкости оборудования. Ротор в РРА используется как для организации взаимодействия фаз на поверхности постоянно обновленной пленки жидкости, так и в качестве диспергирующего устройства, что объединяет обе эти функции. Таким образом, взаимодействие контактирующих фаз в роторных массообменных аппаратах при использовании соответствующих контактных элементов идет на развитой турбулизированной межфазной поверхности, которая продуцирует интенсивный тепломассообмен. К особому преимуществу РРА, в частности, относится возможность проведения тонкой ректификации веществ с близкими температурами кипения, как, например, ЭАФ или КЭАФ, благодаря большим скоростям взаимодействующих фаз, малого перепада температур, по высоте

аппарата и малого времени пребывания реагирующих веществ в зоне контакта. В частности, конструкция роторного ректификационного аппарата с перфорированным ротором, внутри которого расположено контактное устройство, разрешает достичь наиболее высокой степени деления при сохранении стойкости работы в широком диапазоне нагрузок по фазам и режимным параметрам, причем есть возможность работы на сравнительно маленькой плотности орошения и значительно сокращается время вывода аппарата в рабочий режим.

Зависимости, полученные разными авторами при изучении массообмена и гидродинамики взаимодействия фаз в поле центробежных сил, не пригодны для расчета и проектирования РРА с целью применения в спиртовом производстве, в частности, при переработке его отходов в силу важного расхождения гидродинамической обстановки в аппаратах разных конструкций. При исследовании разных типов центробежных массообменных аппаратов были выявлены следующие особенности:

- в подавляющем большинстве аппаратов использовано противоточное движение контактирующих фаз;
- вероятный период контактирования в рабочей зоне аппаратов при увеличении скоростей потоков фаз уменьшается;
- интенсификация массообменных процессов ведется за счет увеличения поверхностей распределения фаз и их дополнительной турбулизации.

Поэтому за основу разработки контактных элементов была поставлена задача создания таких, которые имели бы достаточную удельную и достаточно развитую межфазную поверхность и при этом имели относительно увеличенное время контактирования без увеличения габаритов аппарата. Этого можно достичь, если организовать взаимодействие фаз в режиме перекрестного движения. Также известно, что при взаимодействии системы газ(пар)-жидкость диффузное сопротивление процессам массообмена в большинстве случаев сконцентрировано в одной из фаз. Учитывая это, перекрестное движение фаз может быть организовано как радиальное движение одной фазы и движение по спирали другой, при этом движение по спирали должна иметь та фаза, в которой находится большее диффузное сопротивление.

Для исследования тепломассообмена в поле центробежных сил были проведены опыты на исследовательском стенде, представляющем собой роторный ректификационный аппарат. Такие массообменные аппараты позволяют перерабатывать большие материальные потоки при малом рабочем объеме по сравнению с обычными дистилляционными колонными аппаратами и обладают более высокой эффективностью. Разработка такого аппарата позволяет в значительной степени уменьшить металлоемкость оборудования, сократить производственные площади и производить тонкую ректификацию, изменяя режимные и конструктивные параметры. Более рациональное использование таких ресурсов, как металлоемкость оборудования, площадь производственных помещений, энергетических затрат на проведение интенсифицированных технологических процессов, позволяет сделать выводы об опосредованном снижении техногенной нагрузки на окружающую природную среду при внедрении технологий переработки отходов производства с применением компактного высокоэффективного тепломассообменного оборудования. Нами разработана лабораторная установка, на которой проводились исследования массообменных характеристик и определялась эффективность его разделительной способности.

На рис.1 представлена схема лабораторного стенда, на котором проводились испытания. Массообмен исследовали на РРА, выполняющей функцию укрепляющей части ректификационной колонны. Лабораторная

установка состоит из куба - испарителя 1, ПРА 2, дефлегматора-конденсатора 3 и флегмоподогревателя 4. ПРА представляет собой корпус, внутри которого установлен перфорированный ротор с контактным устройством в виде пакета регулярной насадки. Размеры контактного устройства: внутренний диаметр 50 мм, наружный 220 мм, высота 50 мм. Испытания проводились на пакете насадки, представляющем собой ряд взаимно перекрывающихся металлических лопаток, расположенных по спирали Архимеда таким образом, что каждая последующая от центра лопатка перекрывалась предыдущей с образованием зазора для прохождения газовой фазы [2]. Ротор приводился в движение электродвигателем постоянного тока 6 через ременную передачу. Частота вращения ротора регулировалась в пределах от 0 до 3000 об/мин изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель, с помощью регулятора напряжения. Частоту вращения ротора контролировали тахометром 9.

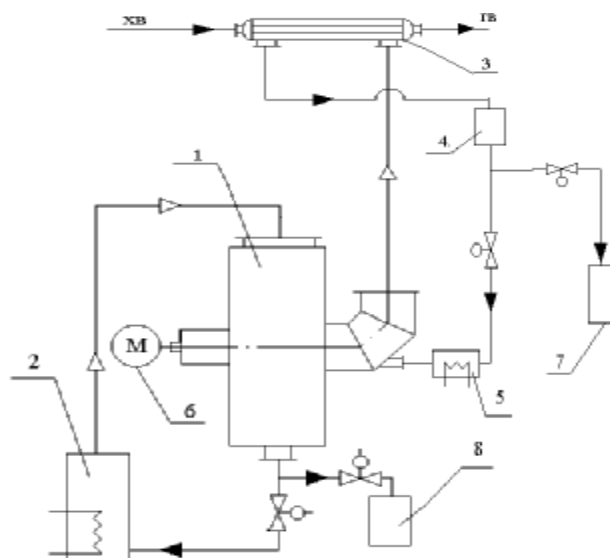


Рисунок 1 - Схема лабораторного аппарата для изучения массообмена:

1 - куб-испаритель; 2 — роторный ректификационный аппарат; 3 - дефлегматор;
4 - флегмоподогреватель; 5 - диафрагма камерная; 6 - ротор; 7 - насос для подачи воды;
8 - электродвигатель; 9 - тахометр; 10 - датчик температуры с вторичным прибором

Разделяемая смесь из куба подавалась в виде пара в аппарат. Величина расхода пара определялась методом переменного перепада давления. В кубе контролировалась температура с помощью датчика 10 с вторичным прибором. По трубе, расположенной по оси аппарата, в центр ротора поступает орошающая жидкость. Пар вводится в аппарат тангенциально и, взаимодействуя с жидкостью в контактном элементе, затем отводится из центра ротора. Жидкость движется по насадке в виде пленки, а при переходе с одного элемента (лопатки) на другой происходят разрыв и дробление ее на капли, в результате этого возникает спонтанная межфазная конвекция, происходит постоянное обновление межфазной поверхности.

Газовый поток движется от периферии к центру ротора, проходя в зазоры между контактными элементами, орошаемыми жидкостью, это создает очень развитую поверхность раздела фаз, повышает процесс массопереноса за счет создания мелкомасштабных турбулентных пульсаций, течение газожидкостного потока в зоне контакта представляет собой сонаправленное движение фаз, а в аппарате в целом имеет характер перекрестного течения фаз, это позволяет в значительной мере

снизить гидравлическое сопротивление, увеличить нагрузку аппарата по фазам, более рационально используя рабочий объем. Высокая межфазная скорость в поле сильных центробежных сил обуславливает высокий градиент концентраций на межфазной поверхности, а значит и увеличение движущей силы процесса массопередачи. В результате процесса массопереноса пар, обогащенный легколетучими компонентами (ЛЛК), из центра аппарата отводится в дефлегматор, где конденсируется. Из дефлегматора сконденсировавшиеся ЛЛК - флегма подается в флегмоподогреватель 4, где подогревается до температуры кипения, а затем поступает на орошение в аппарат. В ходе проведения экспериментов аппарат работал в режиме полного возврата флегмы. Жидкость, обогащенная низкокипящими компонентами (НКК), отводится назад в куб-испаритель.

Вследствие того что определение поверхности контакта фаз в исследуемом аппарате представляет значительные трудности из-за вероятностного характера площади поверхности жидкой фазы в зонах разрыва пленки и дробления ее на отдельные капли, кинетику процесса массообмена характеризовали высотой единицы переноса в жидкой фазе [3]. Для этого определялась концентрация ЛЛК в исходной смеси и во флегме. Пробы флегмы отбирались в пробоотборник, а затем с помощью ареометра определялась плотность смеси. Затем уже по таблицам уточнялась концентрация. Высоту единицы переноса определяли по следующей формуле:

$$h = \frac{d - d_0}{2N},$$

где d и d_0 соответственно наружный и внутренний диаметры контактного элемента, N - число теоретических тарелок.

Расчет числа теоретических тарелок проводили графическим методом, строя ступени изменения концентрации между рабочей и равновесной линиями на $y-x$ диаграмме. В результате экспериментов была определена зависимость высоты единицы переноса в зависимости от частоты вращения ротора и скорости пара. Данная зависимость представлена на графике (рис. 2).

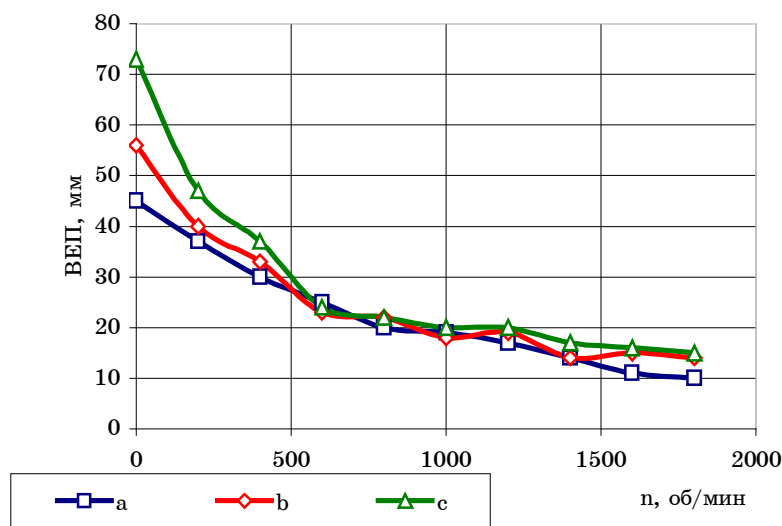


Рисунок 2 - График зависимости и высоты единицы переноса (мм) от частоты вращения ротора при плотности и орошения: а - $2,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$; б - $3,25 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$; в - $4 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$

Как видно из графика, эффективность массоотдачи с увеличением числа оборотов ротора повышается, т. е. величина единицы переноса уменьшается, достигая порядка 15-20 мм при частоте 800 об/мин и более. Следует отметить, что в обычных насадочных колоннах высота единиц переноса при ректификации составляет 200-600 мм [4]. Контактная ступень аппарата характеризуется сравнительно высоким падением давления, что является следствием наложения дополнительного сопротивления за счет центробежных сил и характеристикой более интенсивного взаимодействия контактирующих фаз.

На рис.3 показана зависимость падения давления (ΔP , мм вод. ст.) на контактной ступени аппарата, характерной особенностью является резкое повышение перепада давления при достижении скорости вращения ротора 600 об/мин, при различных величинах плотности орошения, это можно объяснить тем, что в насадке происходит перенаправление характера взаимного движения взаимодействующих фаз с противоточного на сонаправленного, с чем связано дальнейшее снижение сопротивления насадки при увеличении скорости вращения ротора.

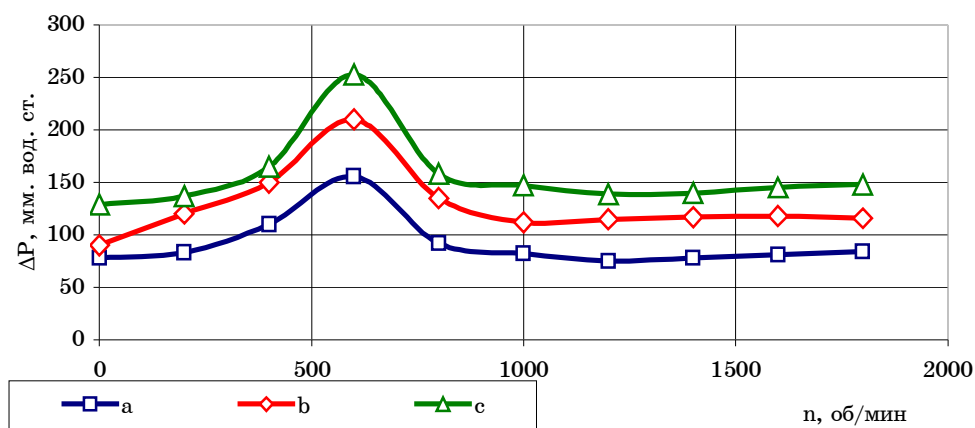


Рисунок 3 - Зависимость перепада давления (ΔP , мм вод. ст.) на контактной ступени аппарата а от частоты вращения ротора при плотности орошения:
 а - $2,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$; б - $3,25 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$; в - $4 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$

Анализируя в целом работу РРА, можно выделить два диапазона работы. Первый от 0 до 800 об/мин можно определить как неустойчивый. Работа аппарата в этом диапазоне сопровождается высоким гидравлическим сопротивлением, связанным с накоплением жидкости в контактном устройстве. Скорость пара в контактном устройстве выше, чем скорость жидкости. Высота единицы переноса составляла 30-70 мм. Вторым участком от 800 об/мин и выше характеризуется устойчивой работой аппарата на всем диапазоне нагрузок, понижением перепада давления, связанного с эффективным диспергированием взаимодействующих потоков и развитой поверхностью контактирующих фаз, эффективность возрастает до высоты единицы переноса 10-15 мм. В этом диапазоне работы рекомендуется эксплуатировать аппарат.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что разработка ректификационных аппаратов такой конструкции является одним из перспективных направлений интенсификации процесса массообмена, экономии природных ресурсов и экологизации производства.

Поступила в редакцию 6 декабря 2005 г.