

663.551.414.002.235

ОПТИМАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХПОТОЧНЫМ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫМ АППАРАТОМ

А. П. НИКОЛАЕВ, В. С. БОДРОВ, В. П. ГРЯЗНОВ, Ю. П. БОГДАНОВ

Киевский технологический институт пищевой промышленности
Всесоюзный научно-исследовательский институт продуктов брожения

Задачу оптимизации трехстадийного процесса брагоректификации на двухпоточном брагоректификационном аппарате БРА можно сформулировать как задачу определения оптимальной совокупности управляющих воздействий (оптимальной стратегии управления ОСУ), для которой критерий оптимальности принимает минимум значения:

$$K_{\Sigma} = \min \sum_1^3 K_i,$$

где K_i — затраты на процессы по стадиям: в бражной БК, эспирационной ЭК и ректификационной РК колоннах, коп/дал абсолютного алкоголя а. а.

Определение ОСУ аппаратом осуществляется при условии, что на каждой стадии имеется конечное число возможных значений основных параметров, в том числе:

входных регулируемых

P^b , P^s и P^p — расходы пара на обогрев БК, ЭК и РК, кг/дал а.а;

t_f — температура бражки, °С;

входных нерегулируемых

X_f^b и $X_f'^b$ — концентрации спирта и определяющей примеси в бражке;

F — количество бражки, поступающей в БК;

выходных регулируемых

Π — процент отбора эфирно-альдегидной фракции из ЭК;

выходных, проверяемых на ограничения,

X_{θ}^p и $X_{\theta}'^p$ — концентрации этанола и определяющей примеси в ректификационном спирте, об. %;

X_w^b и X_w^p — концентрации спирта в барде и лютере, об. %;

промежуточных, проверяемых на ограничения,

X_w^s и Y^p — концентрации спирта в эспирате и в спирто-водных парах, направляемых из БК в РК;

промежуточных регулируемых

D_s^b или D_p^b — проценты отбора спирта с бражным дистиллятом или спирто-водными парами из БК в РК;

M — процент отбора метанольной фракции из РК в ЭК.

Как показал анализ работы БРА косвенного действия [1], оптимальный режим эксплуатации отдельных колонн может противоречить требованию оптимальности всего процесса брагоректификации в целом. Особенностью двухпоточного БРА является более сложная, чем в БРА

косвенного действия, взаимосвязь между стадиями процесса: первая (БК) непосредственно связана паровым и жидким продуктовыми потоками со второй (ЭК) и третьей (РК), а вторая — с первой и третьей.

В работах [2, 3, 4] рассчитаны и проанализированы статические и экономические характеристики стадий в двухпоточном БРА без их взаимной связи. Анализ показал, что в БК [2] на экономичность процесса наиболее влияют X_f^{δ} и t_f , которые, в конечном итоге, определяют расход пара на обогрев БК, а следовательно, и затраты K^{δ} на перегонку и эюрирование бражки. Увеличение крепости и t_f приводит к снижению K^{δ} . В то же время возрастание t_f приводит к повышению отбора спирта из БК с бражным дистиллятом в ЭК, что означает: увеличение нагрузки ЭК и рост затрат на эюрацию K^{ε} , уменьшение парового потока из бражной в ректификационную колонну F^p . Последнее сопровождается вынужденным увеличением расхода пара на обогрев кубовой части ректификационной колонны P^p и, как следствие, ростом затрат на ректификацию K^p .

В ЭК [3] величина K^{ε} уменьшается (в расчете на 1 дал поступающего с питанием этилового спирта) со снижением содержания спирта X_f^{ε} в питающей жидкости (бражном дистилляте) и с уменьшением количества бражного дистиллята (в последнем случае имеются в виду затраты на 1 дал ректифицированного спирта). При малых значениях D_3^{δ} отбор эфирно-альдегидной фракции по отношению к общему количеству спирта, перерабатываемого в аппарате, невелик, хотя по отношению к спирту, приходящему с питанием в эюрационную колонну, этот отбор может быть значительным. Поэтому уменьшение D_3^{δ} приводит к снижению K_{Σ} за счет уменьшения П.

В РК [4] наиболее влияет на K^p величина P^p , которая находится в прямой зависимости от D_3^{δ} .

В итоге: 1) увеличение X_f^{δ} способствует сокращению K^{δ} и удешевляет процесс эюрации бражного дистиллята в ЭК, так как рост X_f^{δ} вызывает увеличение X_{δ}^{δ} , а следовательно, уменьшение абсолютного количества дистиллята; снижение затрат за счет уменьшения абсолютного количества дистиллята преобладает над некоторым ростом затрат за счет увеличения X_{δ}^{δ} , 2) повышение t_f , сказываясь благоприятно на работе БК, отрицательно влияет на экономичность процесса в РК из-за уменьшения F^p и приводит к увеличению затрат K^{ε} благодаря росту D_3^{δ} .

Анализируя изменения K^{δ} , K^{ε} и K^p , связанные с изменением t_f , можно сделать вывод о рациональности уменьшения t_f вплоть до 60°C. Только при малоцентрированных бражках ($X_f^{\delta} < 6,0$ об. %) затраты на ее подогрев в БК до температуры кипения t_k преобладают над экономией, получаемой за счет уменьшения D_3^{δ} , и повышение t_f становится желательным.

Сложная взаимосвязь параметров стадий процесса в двухпоточном БРА и разностороннее влияние их на K^{δ} , K^{ε} и K^p , а в итоге — на общую экономичность процесса вызвали необходимость применения специального метода выбора оптимальной стратегии управления аппаратом — метода динамического программирования [5] с использованием статических и экономических характеристик каждой из колонн аппарата (стадий).

Стратегия управления определялась для двухпоточного БРА производительностью 2000 дал а. а. в сутки, установленного на Ливенском спирткомбинате Орловского спиртообъединения. Колонны аппарата имеют следующее число теоретических тарелок: БК — 10 в извлекаю-

шей и 4 в эпюрирующей части; ЭК — 11 в извлекающей и 6,8 в концентрационной части; РК — 7,2 в извлекающей и 22,6 в концентрационной части. Первая стадия рассмотрена при всех возможных сочетаниях значений X_f^{δ} , t_f и X_w^{δ} .

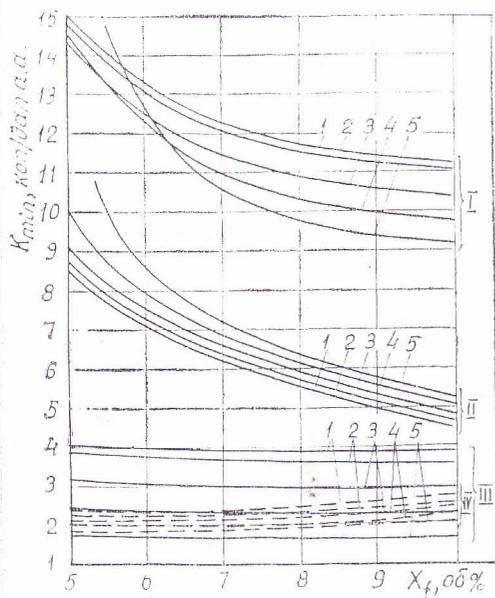


Рис. 1.

Пределы их изменения: $X_f^{\delta} = 5,0 \div 10,0$ об. %, $t_f = 60 - t_k$; $X_w^{\delta} = 0,0015 \div 0,05$ об. %. Выходные параметры первой стадии (БК) — процент отбора спирта с бражным дистиллятом D_3^{δ} и содержание спирта в бражном дистилляте X_{δ}^{δ} использованы при расчете второй стадии (ЭК). Выходные параметры первой и второй стадии X_w^{δ} использованы при расчете третьей стадии (РК). Независимость D_3^{δ} и X_{δ}^{δ} от X_w^{δ} и отсутствие влияния X_w^{δ} на режим РК приводят к тому, что каждому сочетанию D_3^{δ} и X_{δ}^{δ} (или X_f^{δ}) соответствует единственный оптимальный режим в ЭК, являющийся оптимальным при рассмотрении всего БРА.

Выбор X_f^{δ} и t_f однозначно определяет наиболее выгодный расход пара P^{δ} и минимальные затраты K^{δ}_{min} .

Результаты расчетов величин управляющих параметров всех стадий и постадийных затрат на процессы для указанных пределов изменения X_f^{δ} , t_f , X_w^{δ} и X_w^p могут быть представлены в виде графиков или таблиц, с помощью которых в соответствии с принципом оптимальности выбираются режимы, обеспечивающие при самых разнообразных сочетаниях переменных наименьшие величины суммарных затрат на процесс брагоректификации $K_{\Sigma min}$; результаты этой выборки показаны на рис. 1 и подтверждают влияние значений входных независимых параметров на $K_{\Sigma min}$. Наибольшая доля $K_{\Sigma min}$ приходится на K^{δ}_{min} , далее — на K^{ϵ}_{min} и K^p_{min} .

Анализ распределения K_{Σ} позволил выбрать оптимальные значения управляющих параметров и соответствующие им $X_w^{\delta}_{opt} = 0,0015$ об. % и $X_w^p_{opt} = 0,0026$ об. %. На рис. 2 приведены оптимальные значения управляющих параметров $P_{i opt}$ при любых (в принятых пределах) значениях X_f^{δ} и t_f ($X_{\delta}^p = 96,2$ об. %). Обращает на себя внимание резко выраженная зависимость расхода пара в БК от содержания спирта в бражке. В то же время расход пара в РК слабо зависит от X_f^{δ} , несколько увеличиваясь с возрастанием последнего. Объясняется это тем, что с повышением X_f^{δ} и снижением P^{δ} умень-

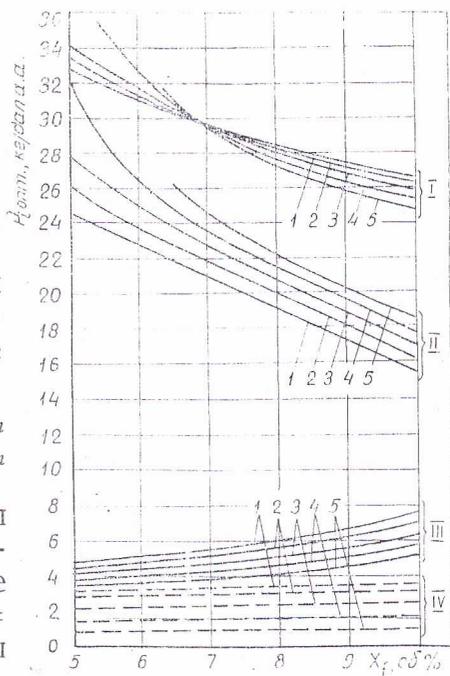


Рис. 2.

шается F^p , что приводит к необходимости увеличивать P^p . Расход пара на элюацию практически зависит только от t_f . Естественное увеличение расхода пара на БК, связанное с уменьшением t_f , сопровождается уменьшением P^a и P^p из-за влияния t_f на D_9^{σ} . В результате, если $X_f^{\sigma} > 6,75$ об. %, то P_{Σ} понижается с уменьшением t_f . Если же $X_f^{\sigma} < 6,75$ об. %, то минимальная величина суммарного расхода пара соответствует максимальной температуре бражки. Последнее объясняется увеличивающимися затратами тепла на догрев бражки по мере уменьшения содержания в ней спирта. Рост расхода пара на догрев не компенсируется уменьшением D_9^{σ} и за этот счет снижением расхода пара на элюацию бражного дистиллята в ЭК и на ректификацию спирта в РК. При $X_f^{\sigma} = 6,75$ об. % величина P_{Σ} от t_f не зависит (в указанных пределах).

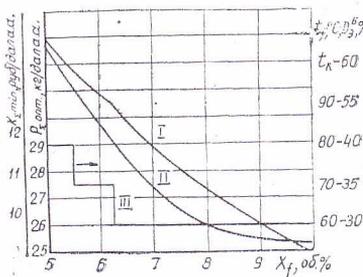


Рис. 3.

На рис. 3 представлен график для выбора ОСУ всем процессом брагоректификации. С его помощью однозначно определяются оптимальные значения управляющих параметров $P_{\Sigma \text{ опт}}$, D_9^{σ} и t_f и соответствующие им минимальные значения суммарных затрат $K_{\Sigma \text{ min}}$, а с помощью рис. 1 — минимальные по стадиям затраты на процессы $K^{\sigma \text{ min}}$, $K^a \text{ min}$, $K^p \text{ min}$. Оптимальные значения Π и M определяются по статическим характеристикам соответствующих колонн.

На Ливенском спирткомбинате была подтверждена возможность осуществления ОСУ на двухпоточном брагоректификационном аппарате БРА. Работа аппарата на оптимальных режимах приводит к снижению затрат на брагоректификацию с 17—18 до 12—13 коп/дал а. а., что соответствует сумме экономии до 25 тыс. руб. в год.

ВЫВОДЫ

1. Оптимальные режимы работы отдельных колонн при их изолированном рассмотрении не соответствуют оптимальной работе брагоректификационного аппарата в целом.
2. При оптимально организованном процессе брагоректификации температура бражки на входе в бражную колонну составляет 60—70°C.
3. Установлена оптимальная взаимосвязь параметров процессов во всех колоннах двухпоточного брагоректификационного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А. П. Спирт. и ликеро-водочн. пром-сть, вып. 9, 1. ЦНИИТЭИПищепром, научно-техн. информ., М., 1971.
2. Николаев А. П., Бодров В. С., Богданов Ю. П., Грязнов В. П. Спирт. и ликеро-водочн. пром-сть, вып. 1, 8. ЦНИИТЭИПищепром, реферат. сб., М., 1972.
3. Николаев А. П. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 6, 114, 1971.
4. Николаев А. П., Бодров В. С., Богданов Ю. П., Грязнов В. П. Спирт. и ликеро-водочн. пром-сть, вып. 9, 4. ЦНИИТЭИПищепром научно-техн. информ. М., 1971.
5. Беллман Р. Динамическое программирование. М., 1968.