

УДК 621.181

Расчетные исследования по снижению энергетических затрат при производстве сульфатной целлюлозы

Александр А. Федяев^a, Юрий В. Видин^b,
Валентина Н. Федяева^a

^a Братский государственный университет,
665709 Россия, Братск, ул. Макаренко, 40

^b Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79¹

Received 5.04.2008, received in revised form 28.04.2008, accepted 5.05.2008

С помощью разработанного программного продукта «Выпарка», реализованного на языке Visual Basic, проведены параметрические численные исследования с целью оценки влияния различного энергоподвода к выпарным аппаратам многокорпусной станции на расход тепла на установку в зависимости от конечной концентрации черного щелока. Выполнено тестирование программы, в том числе на базе опытных исследований других авторов, по влиянию различного энергоподвода к выпарным аппаратам на рабочие характеристики упариваемого черного щелока, а именно плотность, теплоемкость, концентрацию продукта по корпусам и другие параметры. Показана возможность определения минимального прироста тепла греющего теплоносителя при различных интервалах изменения концентрации упаренного продукта.

Ключевые слова: производство сульфатной целлюлозы, снижение энергетических затрат, выпарка, расход тепла.

Введение

В целлюлозно-бумажной промышленности эксплуатируется большой парк отечественных и зарубежных технологических выпарных станций и содорегенерационных котлоагрегатов (СРК). Анализ работы таких крупнейших в России ЛПК, как Братский и Усть-Илимский, показывает, что энергообеспечение осуществляется за счет выработки тепловой энергии (в виде пара), электрической энергии, горячей воды и технологического пара на собственной утилизационной ТЭС. Структура потребляемых энергоресурсов выглядит следующим образом: черный щелок ~ 50,9 %; кора ~ 10,4 %; мазут и пек ~ 7,7 %; горячая вода ~ 8,5 %; пар ~ 12,3 %; электроэнергия ~ 10 % [1,2]. При этом энергопотребление по основным подразделениям завода будет иметь вид: варка целлюлозы ~ 20 %; отбелка ~ 25 %; сушка ~ 18 %; выпарка ~ 30 % и другие - 7 %. Следовательно, при производстве сульфатной целлюлозы надежность всей технологической схемы в значительной мере определяется работой, в частности, выпарных установок.

* Corresponding author E-mail address: boiko@krktu.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Эффективность работы и высокие КПД СРК зависят от рабочей низшей теплоты сгорания черного щелока, которая в свою очередь зависит от его концентрации. Концентрация черного щелока повышается при удалении влаги в процессе выпаривания в многокорпусных выпарных установках (МВУ). Однако чем ниже влажность черного щелока (т.е. чем выше его концентрация), тем больше тепла, а значит, и вырабатываемого пара на СРК необходимо затратить на этот процесс. Поэтому задача поиска рациональных концентраций упаренного черного щелока с целью снижения энергозатрат в технологической цепочке выпарная станция – котлоагрегат является актуальной.

Численные исследования энергозатрат при выпаривании

Программа расчета шестикорпусной выпарной установки. На базе разработанного программного продукта «Выпарка», реализованного на языке Visual Basic [3], были выполнены численные исследования для оценки влияния различного энергоподвода к выпарным аппаратам на рабочие характеристики упариваемого черного щелока, а именно плотность, теплоемкость, концентрацию продукта по корпусам и другие параметры. Данные тарировочных расчетов (рис.1) достаточно хорошо согласуются с данными работы [1].

Параметрические исследования энергозатрат при выпаривании проводились для различных режимов работы выпарной станции. Так, например, при расчетах уменьшалось число корпусов выпарной установки с 6 до 3 штук, изменялось давление греющего пара с 2 до 8 атм и варьировалась поверхность нагрева корпусов с 1042 до 1563 м². При численных исследованиях отслеживались такие параметры, как давление, температура греющего и сокового пара, расход греющего пара, тепло, поступающее со свежим паром, количество выпаренной воды по корпусам, выход упаренного черного щелока, расход тепла по корпусам.

Основными параметрами, по которым строились графические зависимости, являются суммарный расход тепла по корпусам ΣQ , кВт, и поступающее со свежим паром тепло Q , кВт.

Тепло, поступающее со свежим паром, кВт, определялось по формуле:

$$Q = \frac{G_1 / 3600 \cdot c_1 \cdot (t_i + t_o)}{1000} + \frac{w_1 / 3600 \cdot r_1 \cdot 1000}{1000}, \quad (1)$$

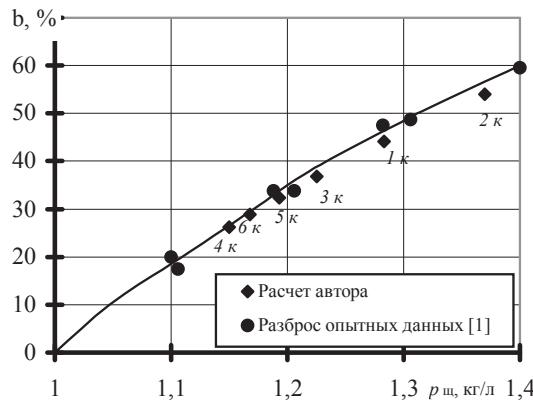


Рис. 1. Зависимость плотности щелоков от содержания сухой массы по шести корпусам выпарной установки

где G_1 - количество щелока на входе в первый корпус, кг/ч; c_1 – теплоемкость щелока в первом корпусе, кДж/кг·°C; t_i – температура кипения щелока в первом корпусе, °C; t_o – температура поступающего щелока с учетом температурных потерь в промежуточном баке, принимается 55 °C; w_1 – количество выпаренной воды в первом корпусе, кг/ч; r_1 – скрытая теплота парообразования, кДж/кг.

Расход тепла по корпусам выпарной станции, кВт, определялся по формуле:

$$\Sigma Q = \frac{(w \cdot r \cdot 1000)}{1000} - \frac{(c \cdot (t_{ep.para} - t_{p-pa}) \cdot G / 3600)}{1000} + Q', \quad (2)$$

где G - количество щелока на входе в данный корпус, кг/ч; c – теплоемкость щелока в данном корпусе, кДж/кг·°C; $t_{ep.para}$ – температура греющего пара в данном корпусе, °C; t_{p-pa} – температура раствора (щелока) в данном корпусе, °C; w – количество выпаренной воды в данном корпусе, кг/ч; r – скрытая теплота парообразования, кДж/кг; Q' – потери тепла, принимаются 3 % от Q .

Расчетные исследования влияния числа корпусов выпарной станции на расход тепла.

Полученные расчетные данные зависимости расхода тепла, поступающего со свежим паром на ВУ, от переменных концентраций и, к примеру, числа корпусов представлены на рис. 2.

Число корпусов уменьшалось с 6 до 3 с шагом в один корпус. Расчеты выполнялись для конечных концентраций 40 ÷ 75 % с интервалом 5 %. Для переменных концентраций такие параметры, как, например, поверхность нагрева, давление и температура греющего пара и сокового пара, оставались постоянными.

В итоге при изменении числа корпусов выпарной станции и концентрации в отмеченных выше интервалах изменились следующие параметры: количество тепла, поступающего со свежим паром, увеличилось в целом в пределах 25,4 – 54,1 %; расход пара по корпусам выпарной установки увеличился в среднем на 51 %; количество выпаренной воды по корпусам возросло в среднем на 75 %; суммарный расход тепла по всем корпусам для расчетных вариантов находится примерно на одном уровне ~ 70000 кВт.

Для шестикорпусной ВУ расход тепла, поступающего со свежим паром (для концентрации 65 %, см. рис. 2), при определении по зависимости (1) равен 25113 кВт, а для пятикорпусной – 28225 кВт.

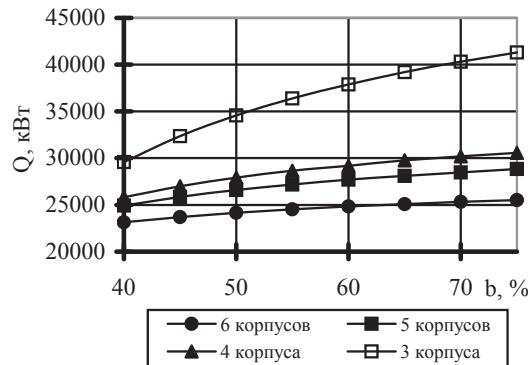


Рис. 2. Зависимость расхода тепла, поступающего со свежим паром на ВУ Q , кВт, от конечной концентрации черного щелока b , %, и числа корпусов

Расчетные исследования влияния изменения давления и температуры греющего пара на расход тепла. При расчетах определялся расход тепла на выпарную установку в зависимости от конечной концентрации черного щелока и варьирования давления и температуры греющего пара. Расчеты также выполнялись для конечных концентраций 40 ÷ 75 % с интервалом 5 %. Для переменных концентраций такие параметры, как, например, поверхность нагрева, давление и температура сокового пара, оставались постоянными.

Отмечается зависимость расхода тепла, поступающего со свежим паром на ВУ, от переменных концентраций, давления и температуры греющего пара (рис. 2).

Из графиков видно, что при изменении концентрации от 40 до 75 % и давления с 2 до 8 атм отмечается рост тепла, поступающего со свежим паром: при увеличении с 2 до 4 атм в пределах 13,4 – 6,4 %; с 4 до 6 атм в пределах 7,6 – 3,9 %; с 6 до 8 атм в пределах 5,6 – 2,9 %.

Для конечной концентрации 65 %, к примеру, при увеличении давления с 2 до 8 атм уменьшение количества тепла, поступающего со свежим паром, происходит следующим образом: при увеличении с 2 до 4 атм – на 7,5 %; с 4 до 6 атм – на 4,5 %; с 6 до 8 атм – на 3,4 %.

При этом суммарный расход тепла ΣQ , кВт, по корпусам в зависимости от давления и температуры греющего пара также изменяется достаточно значительно.

Так, из рис. 3 видно, что при увеличении давления и температуры греющего пара с 2 до 8 атм для концентраций 40÷75 % суммарный расход тепла по корпусам выпарной установки уменьшается: с 2 до 4 атм в пределах 4,2 – 5,6 %; с 4 до 6 атм в пределах 2,1 – 2,5 %; с 6 до 8 атм в пределах 1,4 – 1,7 %.

Для конечной концентрации 65 %, к примеру, при увеличении давления и температуры греющего пара (P от 2 до 8 атм, t от 121 до 171 °C) суммарный расход тепла ΣQ , кВт, по корпусам уменьшился: с 2 до 4 атм на 5,14 %; с 4 до 6 атм на 2,33 %; с 6 до 8 атм на 1,61 %.

Приведем также промежуточные расчетные данные для упаренного щелока при конечной концентрации 65 % и давлениях греющего пара 2 и 4 атм. Поверхность нагрева всех корпусов для расчетных вариантов поддерживалась постоянной и была равна 1303 м². При давлении 2 атм расход греющего пара с первого по шестой корпус составил соответственно 4,25; 3,76; 4,93; 6,09; 6,64; 7,13 кг/с, расход тепла по корпусам - 8894; 8114; 11529; 14448; 15132; 16424 кВт, суммарный расход по всем корпусам составил 74541 кВт. При давлении 4 атм расход греющего пара с первого по шестой корпус составил соответственно 4,23; 3,74; 4,90; 6,06; 6,62; 7,11 кг/с, расход тепла по корпусам - 8078; 7512; 11282; 14204; 14239; 15578 кВт, суммарный расход по всем корпусам составил 70893 кВт.

На рис. 5, 6 представлено изменение прироста суммарного расхода тепла $\Delta \Sigma Q$, %, по корпусам и расхода тепла, поступающего со свежим паром на выпарную установку, ΔQ , %, в зависимости от переменных давлений и температуры греющего пара в заданном диапазоне концентраций черного щелока.

Из анализа графиков видно, что при изменении концентраций от 40 до 75 % и давления греющего пара от 2 до 8 атм наименьшие колебания изменения суммарного тепла (рис. 5) отмечаются в диапазоне давления сокового пара 5 – 6 атм (против 4-5 атм, как правило, используемых на практике).

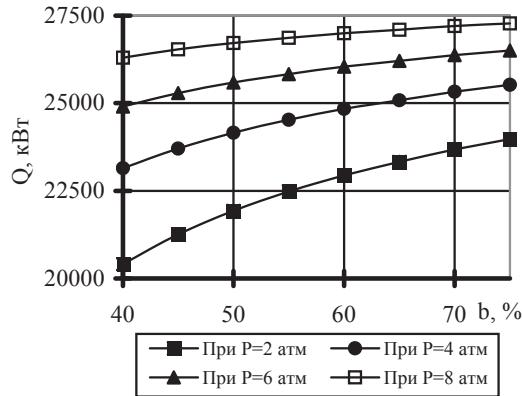


Рис. 2. Зависимость расхода тепла, поступающего со свежим паром ВУ, Q (кВт), от конечной концентрации черного щелока b (%), давления и температуры греющего пара

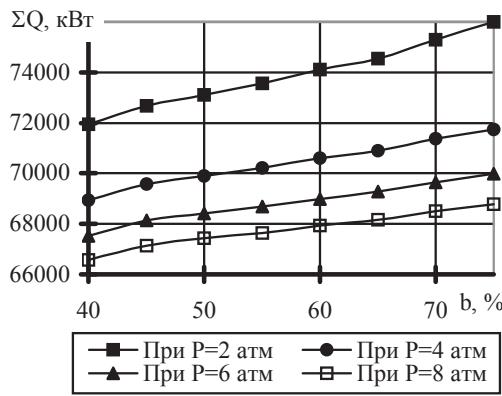


Рис. 3. Зависимость суммарного расхода тепла ΣQ , кВт, по корпусам от конечной концентрации черного щелока $b, \%$, давления и температуры греющего пара

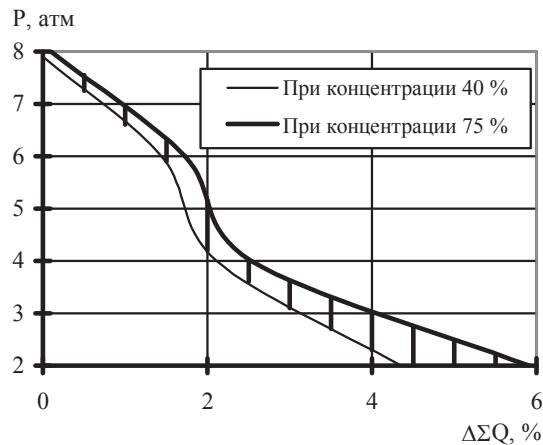


Рис. 5. Зависимость изменения прироста суммарного расхода тепла $\Delta \Sigma Q$, кВт, по корпусам от давления греющего пара

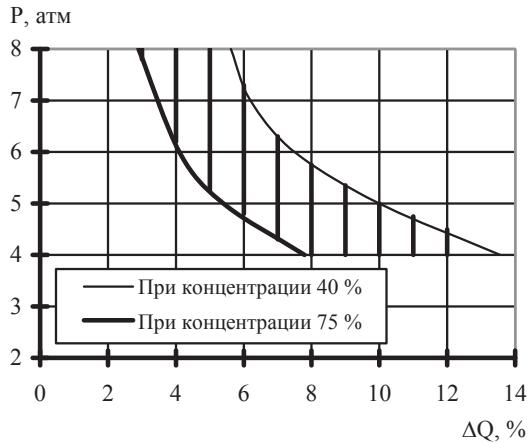


Рис. 6. Зависимость изменения прироста расхода тепла, поступающего со свежим паром на выпарную установку, ΔQ , %, по корпусам от давления греющего пара

Аналогичные тенденции наблюдаются и при изменении прироста расхода тепла, поступающего со свежим паром (рис. 6). Очевидно, что при давлении сокового пара 5-6 атм изменения прироста тепла значительно ниже (в 1,2-1,3 раза), чем в диапазоне 4-5 атм.

Заключение

По результатам численных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При уменьшении числа корпусов выпарной станции с 6 до 3 штук и концентрации от 40 до 75 % изменились следующие параметры: количество тепла, поступающего со свежим паром, увеличилось в целом в пределах 25,4 – 54,1 %; расход пара по корпусам выпарной установки увеличился в среднем на 51 %; количество выпаренной воды по корпусам возросло в среднем на 75 %; суммарный расход тепла по всем корпусам для расчетных вариантов находится примерно на одном уровне ~ 70000 кВт.
2. При варьировании давления греющего пара с 2 до 8 атм, а соответственно, и температуры греющего пара с 120 до 170 °С и концентрации от 40 до 75 % изменились следующие параметры: количество тепла, поступающего со свежим паром, увеличилось в целом в пределах 26,6 – 13,2 %; суммарный расход тепла для шестикорпусной выпарной установки уменьшился в пределах 7,72 – 9,8 %; суммарный расход пара находится примерно на одном уровне ~ 33 кг/с.

Список литературы

1. Жучков П.А. Термодинамические процессы в целлюлозно-бумажном производстве / П.А. Жучков.– М.: Лесная промышленность, 1978. – 408 с.
2. Жучков П.А., Использование вторичных топливных ресурсов в целлюлозно-бумажном производстве / П.А. Жучков, О.Д. Евсеев, С.Н. Смородин // Проблемы энергетики теплотехнологии: тез. докл. Всесоюзн. конф. - М., 1987.
3. Федяев П.А. Исследование влияния расхода энергоносителя на рабочие характеристики черного щелока при его выпаривании. Радиоэлектроника, электротехника и энергетик / П.А.Федяев, А.А. Федяев // Однинадцатая международная научно-техническая конференция

- студентов и аспирантов: тезисы докладов. В 3 т.–М.: издательство МЭИ, 2005. - Т.2. - С. 393-394.
4. Волков А.Д. Кинетика физико-химических процессов при сжигании смеси щелоков / А.Д. Волков, О.Д. Евсеев, С.Н. Смородин // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на предприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр. - Л.: ЛТА, 1990.

Calculation of Energy Costs Reduction when Producing Sulfate Pulp

**Alexander A. Fedyayev¹, Yury V. Vidin²
and Valentina N. Fedyayva¹**

¹ Bratsk State University,
40 Makarenko st., Bratsk, 665709 Russia

² Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

By means of a software product named “Evaporating” developed and realized in Visual Basic, parametric numeric calculations were carried out aiming to estimate the influence of different energy supply of multi-effect evaporators on heat consumption for a plant depending on ultimate concentration of black lye. The program has been tested, using experimental researches by other authors, by estimating the influence of different energy supply of evaporators on the performance capabilities of black lye evaporated, namely its density, heat capacity, concentration of the product by blocks and other parameters. It is shown that it is possible to estimate the minimal heat increase of heating agent with different ranges of changes of concentration of the evaporated product.

Key words: sulfate pulp production, energy costs reduction, evaporation, heat consumption.
