

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ГИДРОЦИКЛОННЫХ УСТАНОВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

Балахнин И.А.

ФГБОУ ВПО «Дзержинский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева», Дзержинск, Россия (606026, Нижегородская область, г. Дзержинск, ул. Гайдара, 49), e-mail: bia2000@yandex.ru

Разработана методика расчета многоступенчатых гидроциклонных установок в производстве картофельного крахмала с использованием новых гидроциклонных модулей. Предложен метод определения количества аппаратов на каждой ступени крахмальной линии, основанный на совместном решении уравнений материальных балансов как по ступеням отдельно, так и всей установки в целом. Данный метод обеспечивает равномерное распределение материальных потоков по всем аппаратам. В методике учтены ограничивающие факторы реальных крахмальных заводов. Математическое моделирование опирается на результаты промышленных и лабораторных испытаний новых гидроциклонных модулей на крахмальных суспензиях в широких интервалах влияющих факторов. Определены типы базовых гидроциклонных модулей и их оптимальные конструктивные характеристики. Приведены расходные характеристики выбранных гидроциклонных модулей ТВП-25 и ТВП-63. Показаны типовые уравнения материальных балансов отдельных ступеней, входящих в общую систему уравнений. Просчитаны различные варианты новых технологических схем и определены их основные рабочие параметры. В результате одна из рассчитанных 9-ступенчатых гидроциклонных установок внедрена на Яльчикском ООО «ЧувашьенКрахмал» и Вурнарском крахмальном заводе взамен ранее используемых 14-ступенчатых установок.

Ключевые слова: гидроциклон, многоступенчатая установка, крахмал.

MODELLING OF MULTISTAGE HYDROCLONE UNITS IN PRODUCTION OF POTATO STARCH

Balakhnin I.A.

Dzerzhinsk polytechnic institute (filiation) of the Nizhny Novgorod state technical university named R.E. Alekseeva, Dzerzhinsk, Russia, (606026, Dzerzhinsk, Gaidar street, 49), e-mail: bia2000@yandex.ru

The methodology of calculation of multistage hydroclone units in production of potato starch with use of new hydroclone modules is developed. The method of definition of number of apparatus at each step of the starched line, based on the joint solution of the equations of material balances as on steps separately, and all installation as a whole is offered. This method provides uniform distribution of material streams on all devices. In the methodology limiting factors of real starched plants are considered. Mathematical modeling is based on results of industrial and laboratory researches of new hydroclone modules on starched suspensions in wide intervals of influencing factors. Types of basic hydroclone modules and their optimum constructive characteristics are defined. Account characteristics of the chosen hydroclone TVP-25 and TVP-63 modules are provided. The standard equations of material balances of the separate steps entering into the general system of the equations are shown. Various versions of new technological schemes are counted and their main working parameters are determined. As a result one of the calculated 9 step hydroclone units is introduced on Yalchiksky JSC «Chuvashjenkrakhmal» and Vurnarsky starched plant instead of earlier used 14 step units.

Keywords: hydrocyclone, multistage unit, starch.

За последние 5 лет производство крахмала и патоки в России увеличилось на 30% [4]. При этом полностью внутренняя потребность не обеспечивается собственным производством, и доля импорта составляет 40% [5]. Поэтому строительство новых крахмальных заводов и реконструкция действующих является важной задачей, обеспечивающей продовольственную безопасность России.

Производство картофельного крахмала традиционно делится на мокрое и сухое отделение. В мокром отделении производится измельчение, отмывка и сгущение крахмала, в сухом – вакуумное обезвоживание, сушка и упаковка.

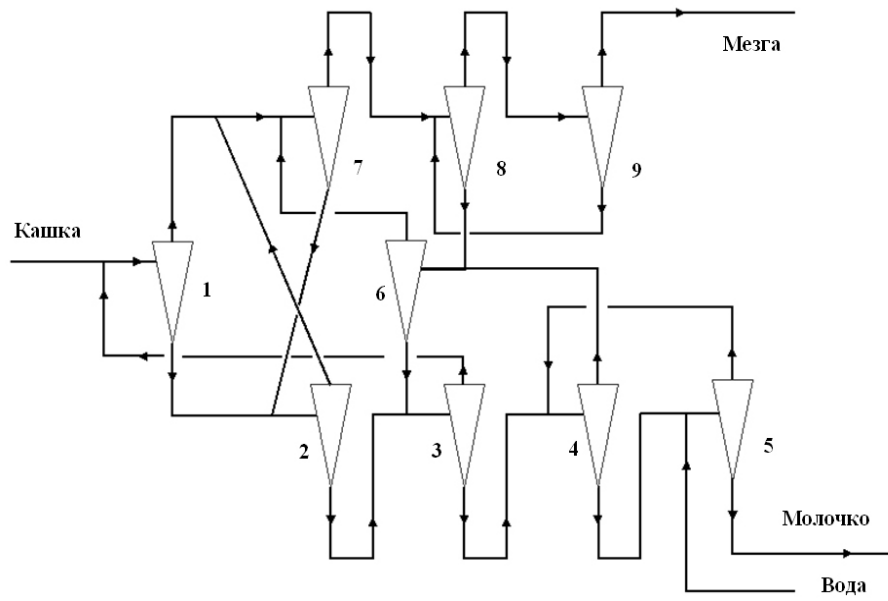
Основной частью мокрого отделения является многоступенчатая гидроциклонная линия по отмывке картофельного крахмала. В результате работы линии происходит отделение зерен крахмала от картофельного сока, мезги и посторонних примесей. Линия, в свою очередь, подразделяется на крахмальную и мезговую ветки.

В настоящее время на отечественных картофелекрахмальных предприятиях для извлечения и промывки крахмала в основном используются типовые 14-ступенчатые гидроциклонные установки серии ПГ [1; 2], комплектуемые блочными мультициклонами на базе полиэтиленовых гидроциклонов конструкции ВНИИ крахмалопродуктов. Ввиду значительной энергоемкости таких установок актуальной проблемой является сокращение количества их ступеней, что может быть достигнуто применением гидроциклонных элементов более совершенной конструкции. При этом необходимо обеспечивать высокую эффективность очистки крахмала от примесей на уровне 99,4-99,6%.

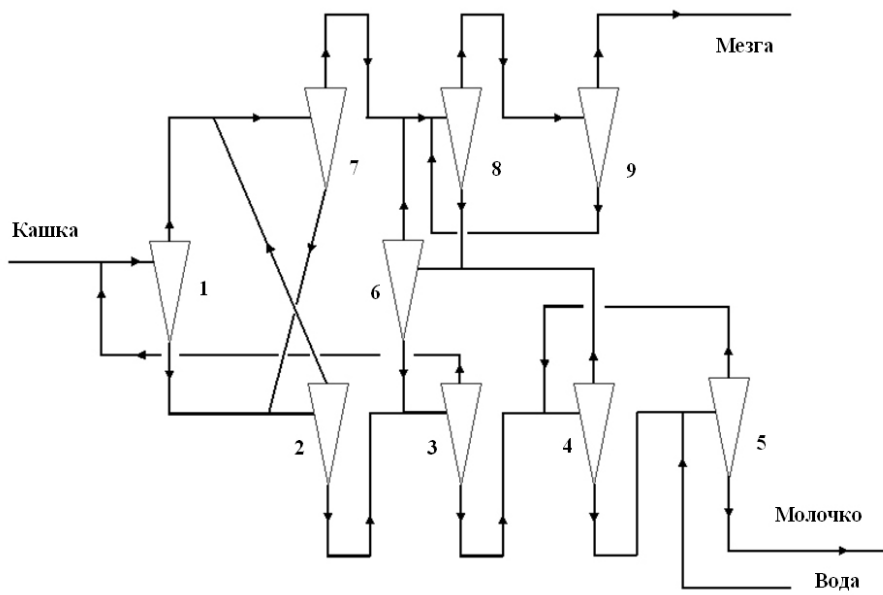
Сложность расчета и оптимизации многоступенчатых гидроциклонных установок обусловлена взаимными перетоками от одних ступеней к другим, требованием равномерности загрузки каждого аппарата, граничными значениями по водопотреблению предприятия и экономией электроэнергии. В зависимости от требуемой производительности линии, а также от типа и конструкции применяемых гидроциклонных аппаратов количество единичных модулей может измеряться несколькими сотнями.

Комплектование гидроциклонных установок единичными пластмассовыми модулями Держинского политехнического института НГТУ [3; 6] позволяет уменьшить количество ступеней до 10 или даже 9 при сохранении качества отмывки крахмала и существенном снижении затрат как на создание, так и на эксплуатацию установки.

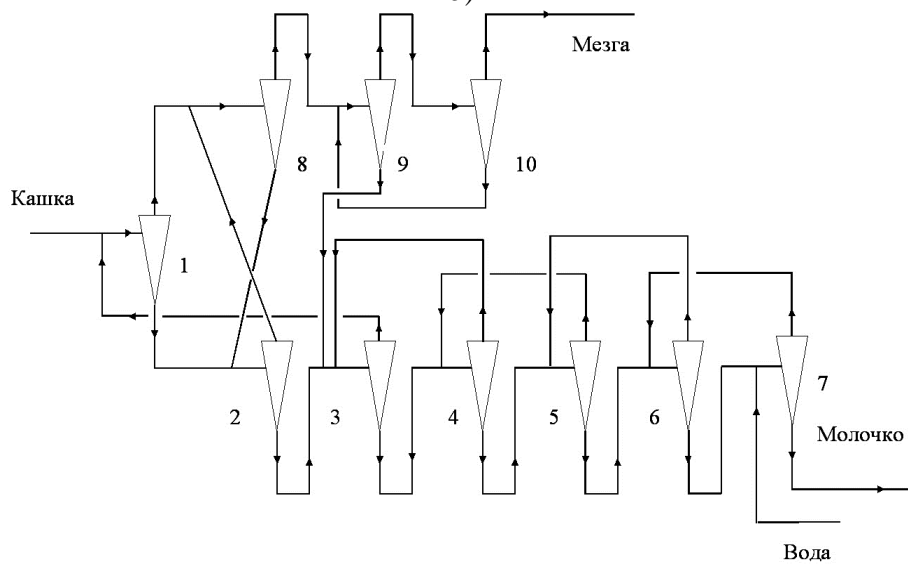
На рисунке 1 приведены новые схемы многоступенчатых гидроциклонных установок. На схеме *а* изображена 9-ступенчатая установка с перетоками между мезговой и крахмальной ветками по верхним потокам 4-6-7 ступеней и по нижним потокам – 8-6-3 ступеней. На схеме *б* изображена 9-ступенчатая установка с перетоками между мезговой и крахмальной ветками по верхним потокам 4-6-8 ступеней и по нижним потокам – 8-6-3 ступеней. На схеме *в* изображена 10-ступенчатая установка с перетоком между мезговой и крахмальной ветками по нижним потокам 9-3 ступеней. Верхние и нижние перетоки 3-1, 2-7, 7-2 (8-2) на всех схемах совпадают.



a)



б)



в)

Рисунок 1 – Схемы 9- и 10-ступенчатых гидроциклонных установок

В промышленных и лабораторных условиях проводились исследования зависимости расходных характеристик аппаратов от размеров единичных модулей, входного давления, концентрации крахмала на входе в гидроциклоны, а также от разгрузочных соотношений потоков. Использовались гидроциклоны ТВП с диаметрами корпуса 25, 40, 63 и 80 мм с углами конуса 5 и 8 градусов, соотношениями длины корпуса к диаметру 1,5-2, эквивалентным диаметром входного отверстия 0,25 диаметра корпуса, диаметром верхнего отверстия 0,3 диаметра корпуса. Давление на входе в аппарат составляло 1-5 атмосфер. Концентрация крахмала на входе в гидроциклоны находилась в интервале 1-20%. Отношения диаметров нижних отверстий к верхним составляли 0,35-1,125. Во всех опытах оценивалась эффективность осветления крахмальной суспензии и сгущения очищенного крахмала. Расходные характеристики единичных модулей ТВП-25 и ТВП-63, выбранных в результате исследований за базовые, представлены на рисунке 2.

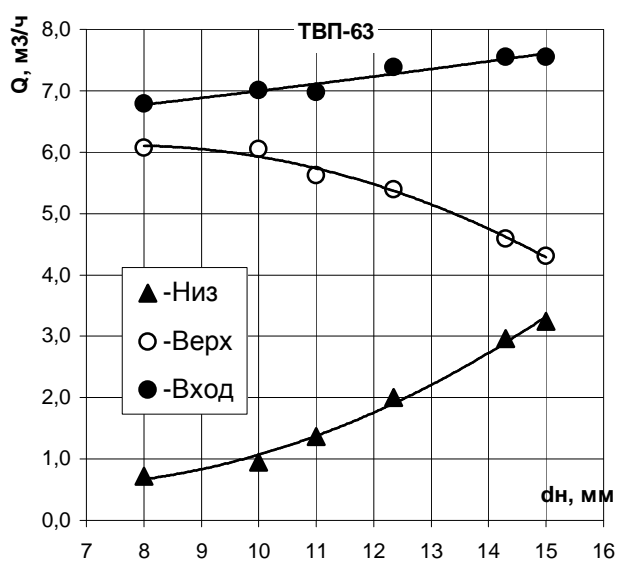
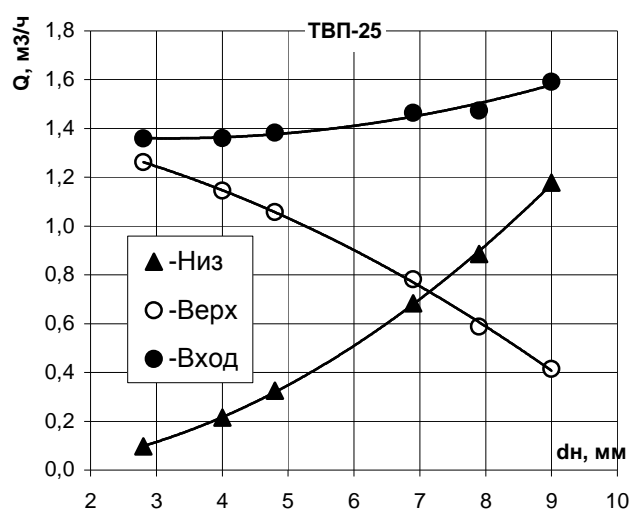


Рисунок 2 – Расходные характеристики гидроциклонов ТВП-25 и ТВП-63

При моделировании были просчитаны более 10 различных промышленных линий производительностью от 50 до 800 т/сутки. Итоговая расчетная погрешность не превышала 1,6%.

В модель закладывались единичные гидроциклонные модули ТВП-25 с диаметром проточной части 25 мм, длиной цилиндрической части 50 мм и углом конуса 5° на всех ступенях, кроме последней в крахмальной ветке. На последней ступени для сгущения крахмала использовались модули ТВП-63 с диаметром корпуса 63 мм, длиной цилиндрической части 126 мм и углом конуса 8°.

На основе полученных опытных данных составлялись уравнения материальных балансов по каждой ступени и по всей установке в целом с учетом граничных условий. Далее благодаря совместному решению порядка 20 балансовых уравнений по всем материальным потокам достигалась конечная цель – определение количества единичных гидроциклонных модулей на всех ступенях линии. Типовые уравнения, входящие в систему, выглядели следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{\text{кашка}}^{\text{Вход}} + Q_3^{\text{Верх}} &= Q_1^{\text{Верх}} + Q_1^{\text{Низ}}, \\ Q_1^{\text{Низ}} + Q_7^{\text{Низ}} &= Q_2^{\text{Верх}} + Q_2^{\text{Низ}}, \\ &\dots \\ Q_4^{\text{Низ}} + Q_{\text{Вода}}^{\text{Вход}} &= Q_5^{\text{Верх}} + Q_5^{\text{Низ}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где нижние индексы означают номер ступени, а также обозначение внешних потоков, входящих в линию; верхние индексы обозначают входящий и два выходящих из гидроциклонной ступени потока.

Причем для достижения равномерности работы всех ступеней каждая имела индивидуальные характеристики по размерам нижних выходных отверстий и, как следствие, отличные от других материальные потоки и разгрузочные соотношения. Созданная модель позволяет в широком диапазоне изменять любые начальные условия, учитывая при этом любые ограничения.

Заказчиком при моделировании выступало ООО «ЧувашьенКрахмал». Пример типового задания содержал в качестве исходных данных: подачу крахмальной каши в 1 ступень – 500 м³/сутки; расход воды в 1 ступень – 100 м³/сутки; производительность возвратного потока с крахмальной линии на вход в 1 ступень – 200 м³/сутки; расход размывной воды на последнюю крахмальную ступень – 200 м³/сутки; выход крахмального молочка на сушку – 200 м³/сутки, из них 60 м³/сутки – чистый крахмал. В соответствии с требованиями

промышленного производства было ограничено количество модулей в каждой ступени (не более 42 аппаратов) с учетом имеющегося насосного оборудования.

В результате моделирования и комплекса конструкторских работ разработана и введена в промышленную эксплуатацию на Яльчикском ООО «ЧувашьенКрахмал» 9-ступенчатая гидроциклонная установка. За счет сокращения необходимого количества насосов, гидроциклонов, трубопроводов и арматуры достигнута значительная экономия капитальных затрат, эксплуатационных расходов и производственных площадей. Кроме того, значительно повысилась надежность работы технологической линии в целом, поскольку обеспечилась равномерная работа всех ступеней схемы.

Положительный опыт моделирования многоступенчатых гидроциклонных установок позволил внедрить аналогичную схему на Вурнарском крахмальном заводе в России (Чувашия) и подготовиться к тиражированию установок на крахмальные заводы Белоруссии.

Список литературы

1. Анализ работы гидроциклонных установок на картофелекрахмальных заводах / Обзорная информация: Серия 19. Крахмало-паточная промышленность. Вып. 5. – М. : АгроНИИТЭИПП, 1993. – 17 с.
2. Бакулин В.А., Гулюк Н.Г., Холмянский Ю.А. Применение гидроциклонов в крахмало-паточной промышленности // Исследование и промышленное применение гидроциклонов : тезисы докл. Первого симпозиума. – Горький, 1981. – С. 156-160.
3. Баранов Д.А., Пронин А.И., Диков В.А., Иванов А.А., Колесова Н.А., Балахнин И.А., Лагуткин М.Г. Гидроциклоны для химических производств и установок очистки оборотных и сточных вод // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 20-22.
4. Исследовательская компания ID-Marketing. Российский рынок крахмалопродуктов: 2009-2010 гг. – URL: <http://id-marketing.ru/goods/analiz-rinka-krahmala-i-patoki.htm> (дата обращения: 10.10.2013).
5. Маркетинговое агентство ROIF Expert. Рынок крахмала в России. – URL: <http://roif-expert.ru/selskoe-khozyajstvo/rynok-krakhmala-2.html> (дата обращения: 10.10.2013).
6. Пронин А.И., Кудрявцев Н.А., Иванов А.А., Диков В.А., Балахнин И.А., Колесова Н.А., Кудряшов А.С., Московский Ю.Н. Батарейные гидроциклоны для пищевых производств // Пищевая промышленность. – 2006. – № 10. – С. 14-15.

Рецензенты:

Остриков А.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ТЖПиАХПП ГОУВПО «ВГУИТ», г.Воронеж.

Ким П.П., д.т.н., профессор кафедры ПАХПТ ГОУВПО «НГТУ», г. Дзержинск.