

Новая технология извлечения сахара из сахарной свеклы от компании Fives Cail

МАРК ТЕЙЛОР, ЖАН ЛЮК МАГАЛЕС, ЖАН УРБАНЬЯК, ФРЕДЕРИК ПАЙЕН
Fives Cail

На протяжении своей многолетней истории группа компаний Fives Cail занимается проектированием и поставкой оборудования для экстракции сахара из сахарной свеклы и сахарного тростника. На начальном этапе разработки непрерывной экстракции сахара из свеклы Fives Cail начала строить диффузионные аппараты типа RT. И скоро компания стала мировым лидером в проектировании и разработке технологии RT, поставив свыше 240 установок во многие страны мира. Позднее был разработан первый вертикальный диффузионный аппарат [1], и компания Fives Cail разработала и установила несколько противоточных смесителей стружки и вертикальных диффузионных аппаратов в конце 70-х – начале 80-х годов прошлого века.

Fives Cail продолжает обслуживать диффузионные аппараты RT, выполнила много проектов по улучшению рабочих характеристик аппаратов RT, включая двукратное повышение их производительности по сравнению с исходной по проекту.

В 2005–2006 гг. группа компаний Fives Cail вместе со своими партнерами Maguin S.A.S (Франция) и O.E.P (Турция) спроектировала и построила «под ключ» новый сахарный завод в Богазляне (Турция) мощностью 10 тыс. т свеклы в сутки. Этот завод оснащен современным оборудованием, спроектированным в соответствии с высочайшим уровнем надежности, качества, автоматизации и энергопотребления [2].

В ассортименте оборудования, предлагаемом ранее группой компаний Fives Cail, не было вертикального диффузионного аппарата. В связи с этим были разработаны TowerMax и EcoMixer, чтобы предложить заказчикам полную линию технологического оборудования для производства сахара из сахарной свеклы, которое отвечает всем требованиям экстракции, энергосбережения и снижения инвестиционных затрат.

Цех экстракции включает вертикальный диффузионный аппарат TowerMax, противоточный смеситель стружки EcoMixer и дополнительное оборудование (нагреватели, пеногаситель, фильтры для жома и установки удаления песка) (рис. 1).

В соответствии с потребностями рынка, компания Fives Cail предла-

гает цеха экстракции производительностью от 4 тыс. до 14 тыс. т переработки сахарной свеклы в сутки (табл. 1).

TowerMax представляет собой противоточный вертикальный диффузионный аппарат, в состав которого входят основание с опорой оси и подшипниками, вертикальные и горизонтальные сита, линии

подачи стружки и выхода сока, зона экстракции с движущимися и фиксированными ножами, которые перемещают стружку в башне снизу вверх, и верхняя часть с блоком механизации и двумя шнеками для удаления жома.

Время пребывания стружки в зоне экстракции составляет от 90 до 120 мин. Сита постоянно очищаются скребками, и при необходимости выполняется дополнительная очистка соком.

TowerMax был разработан в соответствии с проверенной технологией производственного процесса. Надежность и контроль, включая систему безопасности, гарантируют низкие затраты на обслуживание и оптимальную работу TowerMax.

EcoMixer представляет собой противоточный миксер стружки, который состоит из корпуса с фиксированными ножами, вращающегося вала с электродвигателем, движущимися ножами и смесителями, а также ситами для пеногашения сока и зеленого сока.

В начале разработки вертикального диффузионного аппарата было решено, что его конструкция не будет значительно отличаться от существующей проверенной технологии, чтобы обеспечить устойчивую и безопасную работу оборудования, при этом рабочие характеристики должны обеспечивать минимальное энергопотребление, низкую откачку диффузионного сока, максимальную производительность экстракции и получение влажного жома, пригодного для прессования. Также было решено

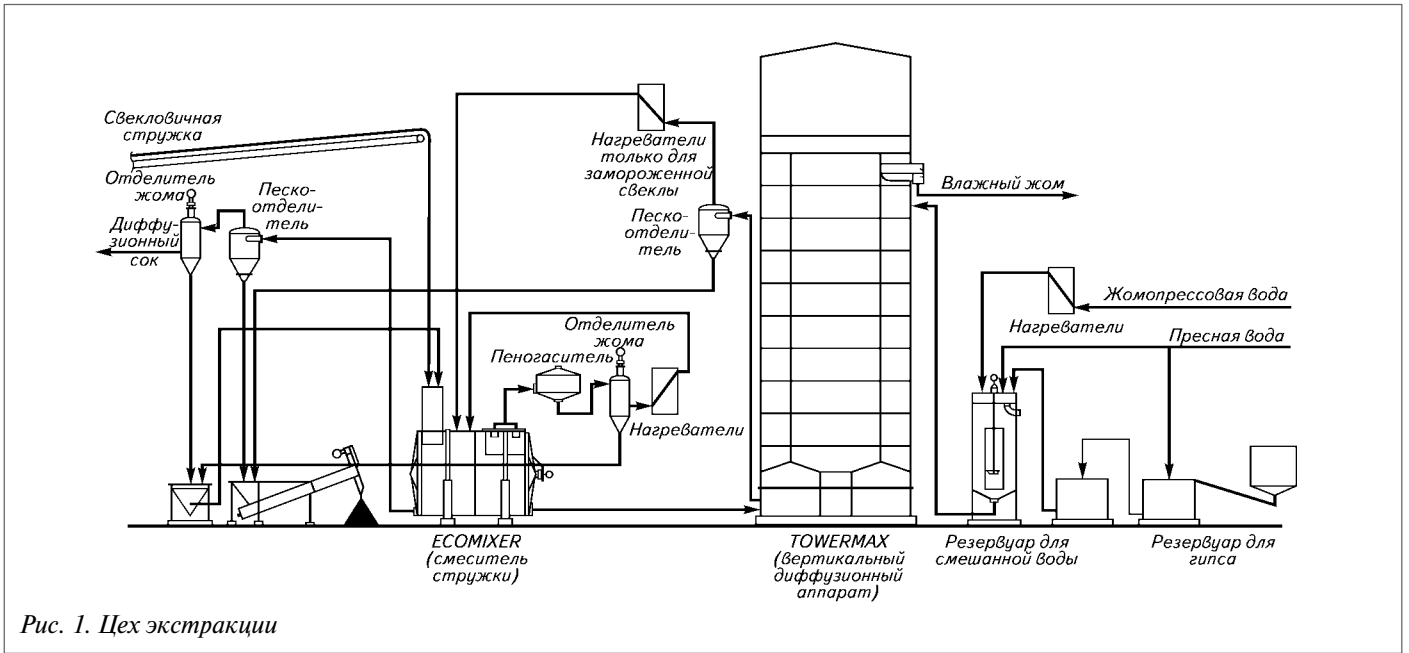


Рис. 1. Цех экстракции

получить следующие рабочие характеристики оборудования:

- откачка диффузионного сока,
% к массе свеклы 95–115
- потребление пара,
% к массе свеклы 1,3 – 1,9
- потери сахара,
% к массе свеклы 0,2–0,25
- ΔT сок – стружка, °C 10–15.

В предлагаемом цехе экстракции сахара из свеклы используются противоточный смеситель стружки и вертикальный диффузионный аппарат для жидкой экстракции сахарозы из пластинок свеклы.

Наклонный ленточный транспортер подает стружку в загрузочный желоб противоточного смесителя **EcoMixer** (рис. 2), и одновременно в смеситель самотеком добавляется

соответствующее количество сока из диффузионного аппарата. Смеситель стружки обеспечивает эффективный подогрев загружаемой стружки до температуры диффузии посредством её смешивания с соком из диффузионного аппарата и денатурирует стружку для обеспечения извлечения сахарозы. Часть сока движется навстречу потоку холодной стружки, покидая смеситель в виде холодного диффузионного сока при температуре на 10–15 °C выше температуры стружки. Такой холодный диффузионный сок можно подогреть, используя отработанную энергию, включая технологический конденсат, пар из вакуумных и выпарных аппаратов. Остаток сока смешивается в противотоке со стружкой, образуя смесь, и направляется в нижнюю часть **TowerMax**.

теля проходит через внешние пластинчатые теплообменники с широкими зазорами для сока, регулирующие температуру в смесителе стружки и нижней части диффузионного аппарата.

В **TowerMax** снизу поступает стружка и поднимается вверх с помощью ножей, фиксируемых на центральном вращающемся валу аппарата. К внутренней стороне корпуса крепятся неподвижные ножи, обеспечивающие полное перемешивание стружки по мере её продвижения вверх и равномерное распределение времени пребывания

Параметры цехов экстракции *Fives Cail*

Производительность по переработке сахарной свеклы, тыс. т/сут	TowerMax		EcoMixer	
	Наружный диаметр, м	Диаметр, м	Длина, м	
4	6,7	4,3	7	
6	8	5,1	8	
8	9,3	5,9	8	
10	10,6	6,7	8,5	
12	11,9	7,5	9,5	
14	13,3	8,3	10	

Для гашения пены в смесителе стружки предусматривается использование пеногасителя, обеспечивающего соответствующую концентрацию и теплообмен внутри смесителя. Сок из пеногаси-



Рис. 2. EcoMixer

ния стружки в диффузионном аппарате. Для диффузии в верхнюю часть аппарата добавляется вода, которая потом стекает вниз навстречу потоку стружки.

В нижней части **TowerMax** имеются нижние и боковые сита для отделения сока от стружки.

Два горизонтальных шнековых транспортера, расположенные в верхней части диффузионного аппарата, удаляют влажный жом, а еще один шнековый транспортер перемещает стружку в отделение прессования жома.

Диффузионный аппарат работает со 100%-ной рециркуляцией жомопрессованной воды, которая отделяется от жома и нагревается паром из испарителя в пластинчатом теплообменнике. Так как количество жомопрессованной воды недостаточно, чтобы восполнять откачку сока из диффузионного аппарата, в смесительный резервуар добавляется пресная вода с серной кислотой для обеспечения $\text{pH}=5,5$ в аппарате и гипс, который используется при прессовании. Вода поступает в диффузионный аппарат ниже шнековых транспортеров отвода влажного жома и распространяется по специальному неподвижному ножам. Уровень смеси находится, примерно, на 2 м ниже шнековых транспортеров для обеспечения дренажа влажного жома.

Для обеспечения более полного извлечения сахара из свекловичной стружки важно гарантировать надлежащую и стабильную её подачу. Во входном отсеке нижней части диффузионного аппарата поддерживается слабая концентрация стружки, чтобы обеспечить хорошее отделение сока от неё; в главном отсеке необходима средняя концентрация, так как здесь происходит большая часть экстракции, а максимальная кон-

центрация достигается в верхней части аппарата выше уровня добавления диффузионной воды. Неправильная концентрация стружки может привести к высоким диффузионным потерям. Если концентрация в аппарате слишком низкая, то скорость сока становится крайне высокой, а если концентрация слишком высокая, то может произойти обратное смешивание. Факторы, оказывающие влияние на концентрацию, включают качество свекловичной стружки, температуру и кислотность. Контроль концентрации стружки в аппарате осуществляется за счет изменения скорости вращения оси аппарата, а также регулирования уровня смеси. Уровень концентрации оценивается посредством измерения крутящего момента привода и давления над и под ситами диффузионного аппарата.

В **TowerMax**, **EcoMixer** и другое оборудование цеха экстракции добавляется антисептик для контроля уровня микробиологического загрязнения.

В диффузионный аппарат, пеногаситель и транспортерно-мочную воду добавляется противоспенивающее масло для предотвращения вспенивания.

Полученный холодный диффузионный сок, прежде чем он попадает в сокоочистительное отделение, обрабатывается с помощью пескоуловителя (циклонного типа) с верхним сливом непосредственно в сокоочистительное отделение и нижним сливом в пескоотделитель, а также сита фильтрации жома для защиты теплообменников.

При переработке замороженной свеклы требуется внести изменения в нарезку стружки свеклы [3], включающие увеличение размера стружки «Up» с 4,5–5,0 мм до 5,0–6,0 мм и «Back» — с 6,0 до 5,0 мм.

При попытке получить обычную стандартную стружку, замороженная свекла разделяется на маленькие кусочки — следовательно, лучше резать свеклу пластинками и позволить им ломаться во время диффузии. Теплообменник обезпеченного сока не имеет достаточной пропускной способности и, следовательно, не сможет полностью обеспечить энергию, необходимую для поддержания требуемой температуры 70–72 °С в нижней части диффузионного аппарата. В такой ситуации нужно установить дополнительные теплообменники на линии циркуляции сока, выходящего из диффузионного аппарата и направляющегося в противоточный смеситель стружки, для поддержания требуемой для диффузии температуры. Для этого режима требуется только часть циркулирующего сока, поэтому после пескоотделителя он делится на два потока: один проходит через теплообменники, а другой обходит их и направляется непосредственно в смеситель стружки. На выходе из смесителя температура диффузионного сока будет довольно низкой, и потребуются дополнительное нагревание сока до температуры, необходимой для обеспечения I сатурации.

Для повышения конкурентоспособности, **TowerMax** и **EcoMixer** были спроектированы с учетом анализа затрат и возможностью изготавливать основные компоненты локально в соответствии с потребностями заказчика.

Корпус и все основные детали **EcoMixer** и **TowerMax** изготавливаются из углеродистой стали, причем все контактирующие с сырьем детали покрыты сталью 3Cr12 толщиной 1,5 мм или нержавеющей сталью.

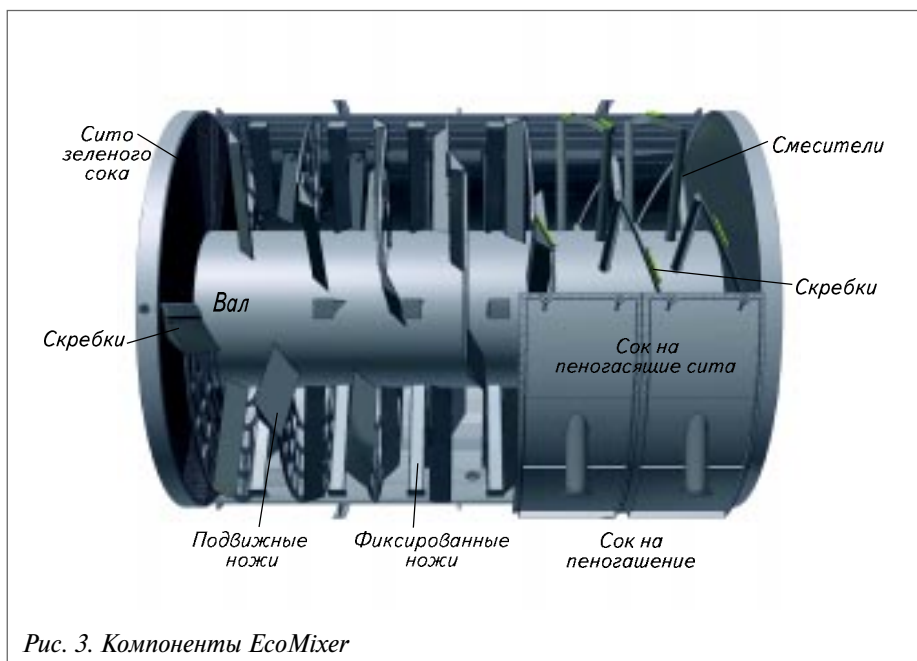


Рис. 3. Компоненты EcoMixer

Держатели привода главного вала **EcoMixer** изготавливаются из ковanej стали и привариваются к торцам трубчатого вала. Опоры обоих торцов вала – сферические роликовые подшипники: фиксированный подшипник – на неприводном конце вала и плавающий – на приводном конце. Вал также оснащен сальниковыми коробками для предотвращения утечек. Приводная система включает преобразователь частоты, электродвигатель, имеющий защиту IP55 класса F, планетарный редуктор, устанавливаемый на валу, и моментный рычаг. Приводная система работает при постоянном крутящем моменте, чтобы обеспечить оптимальную концентрацию стружки в смесителе и тем самым получить наилучший теплообмен между стружкой, диффузионным соком и смесью, перекачиваемой в диффузионный аппарат (рис. 3).

Торцевая плита на выходе холодного диффузионного сока и выход пеногасителя **EcoMixer** оснащаются проволочными щелевыми ситами, изготовленными из стальной

нержавеющей проволоки двойного скручивания конусного сечения (рис. 4). Такие сита оснащены устройством обратной промывки, а скребки устанавливаются на подвижных ножах таким образом, чтобы не перекрывать сита и не препятствовать потоку.

В **TowerMax** нижнее и боковое щелевые проволочные сита в основании аппарата изготавливаются из нержавеющей стальной профилированной проволоки двойного скручивания с коническим сечением. Эти сита самоочищающиеся (см. рис. 4), а боковые сита, расположенные по периметру корпуса диффузионного аппарата, крепятся в специальных секциях болтами и могут быть заменены изнутри. Нижние сита охватывают две трети основания, треть внутреннего диаметра основания остается без

сита, чтобы осталось место для трех входных труб подачи стружки. На подвижных ножах устанавливаются скребки, нижние сита очищаются секционными подвесными бронзовыми скребками, а боковые сита – пластиковыми подпружиненными скребками, установленными на концах распределительных ножей. Сок после боковых сит проходит через отверстия в корпусе и направляется в коллекторы, расположенные под нижними ситами в основании диффузионного аппарата. Все сита оснащены устройствами обратной промывки с помощью соответствующего промывочного насоса.

Ось вращения опирается на сферические роликовые подшипники в нижнем и верхнем торцах, в нижнем торце оси имеется сальниковая коробка для предотвращения утечек из диффузионного аппарата. Нижний подшипник смазывается маслом и спроектирован таким образом, чтобы ось можно было снять со сферических роликовых подшипников во время сезонного технического обслуживания. Корпус подшипника опирается на стойку и опорную плиту, которую можно отделить, подняв ось вращения с помощью гидравлического домкрата, и закрепить внутри диффузионного аппарата. Верхние подшипники смазываются консистентной смазкой. Ось вращения частично заполняется водой или бетоном, которые служат противовесом и предотвращают подъем оси во время эксплуа-



Рис. 4. Самоочищающиеся щелевые проволочные сита

тации. Доступ внутрь оси вращения осуществляется через смотровой люк в верхней части оси, а для технического обслуживания предусмотрена внутренняя лестница и платформы.

Главный корпус диффузионного аппарата оснащается соответствующими смотровыми окнами, точками отбора образцов, люками и местами для подсоединения контрольно-измерительных приборов. Шнеки для выгрузки жома приварены к секции выгрузки диффузионного аппарата. Зона вентиляции отделяет рабочую часть **TowerMax** от зоны приводов и предотвращает попадание пара в эту зону, а дополнительная вентиляция из зоны приводов осуществляется через верхнее вентиляционное отверстие.

Главный привод оси вращения включает главное зубчатое колесо, изготовленное из двух чугунных половин и прикрученное болтами к верхней части оси. Главное зубчатое колесо приводится в действие 6–8 шестернями типа Vogiflex с плавающими планетарными передачами. Преимуществом такого типа привода является тот факт, что шестерня и главное зубчатое колесо превосходно взаимодействуют и они саморегулирующиеся. На каждом приводе предусмотрен упругий толкатель, обеспечивающий правильное зацепление зубчатых передач. Если функция саморегулировки зубчатого редуктора нарушается, специальный датчик, предусмотренный на этом устройстве, подает сигнал тревоги или останавливает привод оси вращения, чтобы защитить зубчатые передачи. Приводы подсоединяются к одному преобразователю частоты, чтобы обеспечить их работу при постоянном моменте.

Для главного привода предусмотрена закрытая автоматическая система смазки, которая находится отдельно, на уровне земли. Система включает резервуар с подогретым маслом, фильтр с датчиком, два насоса, расходомер, маслосборник и все необходимые трубы и клапаны. Масло подается к каждому приводу и непосредственно на главное зубчатое колесо между ними.

Консистентная смазка подается в коробки сальников автоматически.

В верхней части аппарата предусмотрено место для привода с подъемной консолью, электрической крановой тележкой и таями в сборе. Внутри этой надстройки можно вручную установить подъемную консоль на 360° над каждым приводом, сделать дверцу в стене пристройки и вторую подъемную консоль, подсоединенную к внутренней подъемной консоли, чтобы привод можно было опустить на землю.

Плановое техническое обслуживание EcoMixer и TowerMax. Оборудование для экстракции сахара спроектировано таким образом, чтобы требовалось как можно меньше технического обслуживания, при этом особенно важными являются следующие моменты:

- промывка всего оборудования сразу же после завершения сезона;
- слив масла из коробок передач и его замена или использование одобренного масла для консервации;
- проверка подшипников и замена консистентной смазки при необходимости;
- заправка сальниковых коробок при необходимости;
- очистка сит под высоким давлением и смазка небольшим количеством масла;

- проверка внутренних деталей и ремонт при необходимости (особое внимание уделяется сварным соединениям неподвижных и вращающихся ножей);

- проверка скребков и замена изношенных деталей;

- отсоединение стойки нижнего подшипника оси вращения (для этого надо приподнять ось домкратом и установить прокладку, чтобы снять нагрузку на главный подшипник) или поворачивать ось вращения каждые две недели.

Изготовление оборудования и сборка на объекте. EcoMixer и TowerMax – крупногабаритное оборудование, которое нельзя полностью изготовить в цехе, поэтому большая часть монтажных работ выполняется на объекте. Компания Fives Cail стремится большую часть оборудования изготовить локально, в месте нахождения заказчика, и поставлять только основные компоненты: сита, привод и подшипниковые узлы. Локализация производства имеет значительные преимущества, связанные со стоимостью изготовления и обеспечением быстрой доставки. Качество оборудования гарантируется постоянным контролем со стороны компании Fives Cail, которая следит за соответствием своим стандартам.

Компания уделяет большое внимание изготовлению и сборке, так как это один из ключевых моментов, влияющих на стоимость поставки. Порядок сборки оборудования описан таким образом, чтобы обеспечить соответствующее планирование изготовления каждой части цеха и бесперебойную работу на объекте. Смесители **EcoMixer** меньшей производительности могут доставляться на объект как одно целое, и нужно будет собирать только желоб для заг-

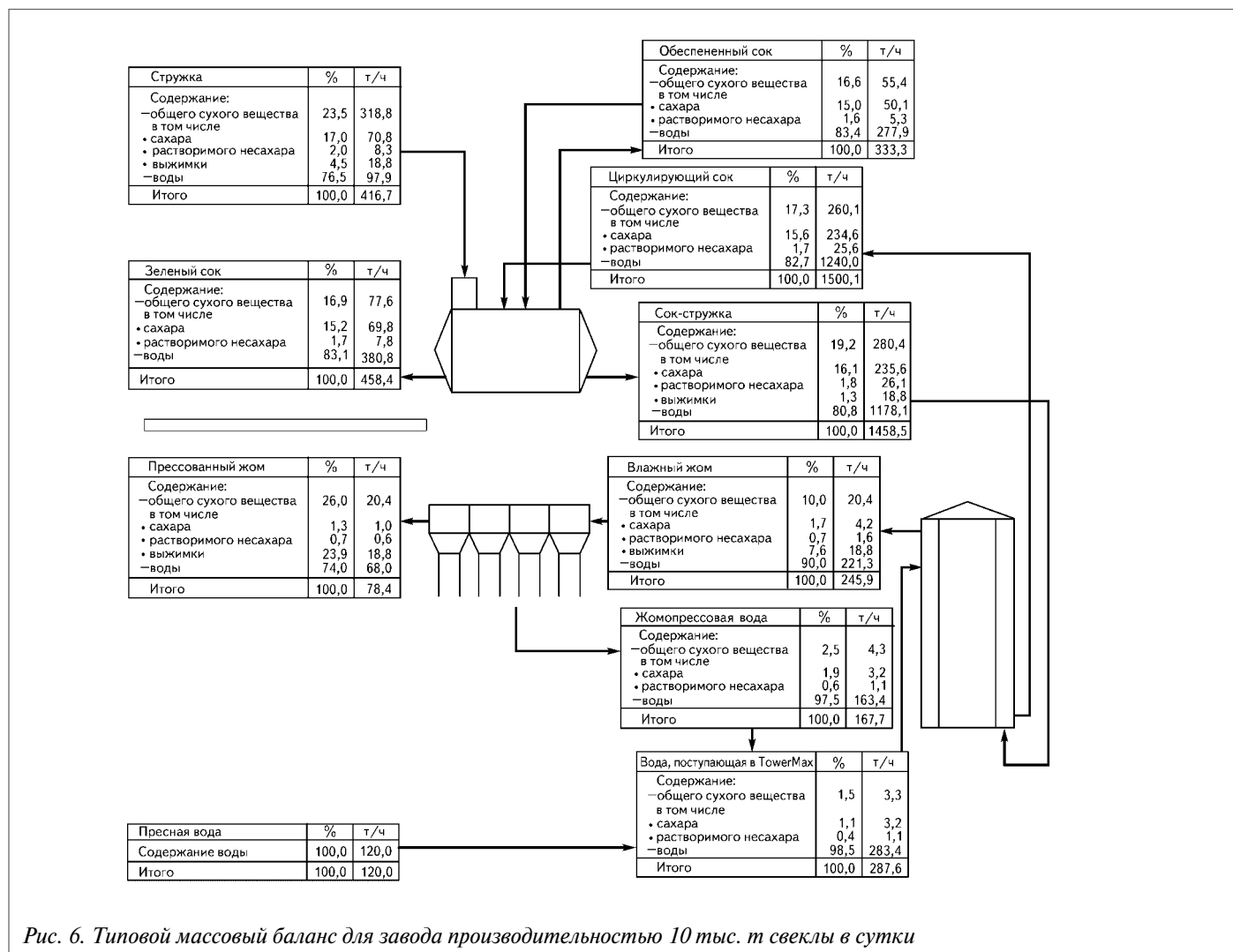


Рис. 6. Типовой массовый баланс для завода производительностью 10 тыс. т свеклы в сутки

каждую секцию диффузионного аппарата на перпендикулярность, используя отвес или лазерный уровень, а все сварные швы — методом цветной дефектоскопии.

Система управления цехом экстракции. Управление цехом экстракции происходит с панелей управления, к которым подключены все контрольно-измерительные приборы (рис. 5). Одна или несколько рабочих станций оператора отображают общую мнемосхему с основной информацией о процессе, изменении его параметров и аварийными сигналами. Управление и настройка контуров регулирования и циклов работы осуществляется систе-

мой управления в соответствии с требованиями заказчика.

Одна панель управления предназначена для управления TowerMax и включает преобразователь переменной частоты и электродвигатели, которые приводят в действие ось вращения. Дисплей НМІ позволяет оператору локально контролировать выключатели, которые блокируют диффузионный аппарат. Нижние сита очищаются автоматически или по сигналам с двух датчиков давления. Система смазки также контролируется с данной панели.

Панель управления технологическим процессом предназначена для цеха экстракции и через сеть

связана с панелью управления TowerMax. Эта панель управляет всеми подсистемами, такими как смеситель стружки, циклы пеногашения и циркуляция сока в диффузионном аппарате, системы очистки диффузионной воды, жомпрессовая вода, подготовка гипса и т.д. Оператор может запустить и остановить все оборудование, отрегулировать основной поток цеха экстракции с центрального поста управления. В случае какого-либо отклонения, автоматически посылаются аварийный сигнал и включается сирена, чтобы как можно быстрее предупредить оператора о проблеме. Отче-

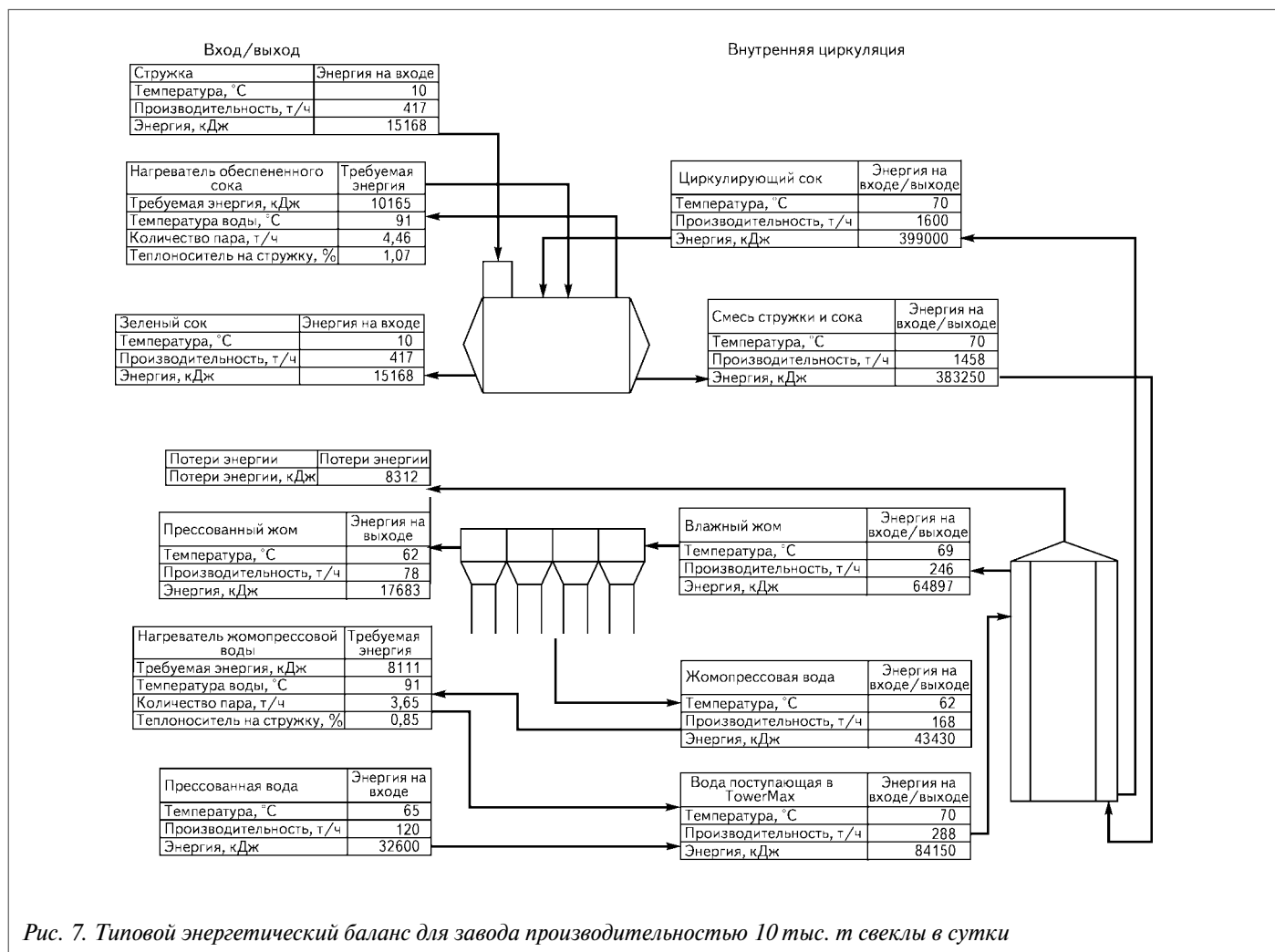


Рис. 7. Типовой энергетический баланс для завода производительностью 10 тыс. т свеклы в сутки

ты об изменениях в процессе выполняются автоматически.

Систему управления можно соединить с существующим заводским контроллером PLC или с системой АСУ ТП, и дистанционная связь позволит получить помощь извне через безопасное соединение Ethernet.

Массовый и энергетический баланс. На рис. 6 показан типовой массовый баланс для завода производительностью 10 тыс. т переработки сахарной свеклы в сутки. Для получения такого баланса использовались следующие данные:

содержание в стружке, %:	
- сахара	17
- выжимки	4,5
откачка диффузионного сока, %	110

потери при экстракции, %	0,25
доброкачественность, %:	
- зеленого сока	90
- жомопрессовой воды	80
расход сока, % к массе свеклы:	
- обезбещенного	80
- циркулирующего	350
содержание сухого вещества, %:	
- во влажном жоме	10
- в жоме	26.

На рис. 7 показан типичный энергетический баланс завода производительностью 10 тыс. т свеклы в сутки. Для получения такого баланса использовались следующие данные:

температура, °С:	
- стружки	13
- пара	91
- влажного жома	69

- прессованного жома	62
удельная теплоемкость, Дж/кг/К [4]:	
- стружки	3640
- влажного жома	3830
- прессованного жома	3800.

Энергетический баланс рассчитывается при условиях переработки нормальной свеклы, а для нагревания жомопрессовой воды и обезбещенного сока используется только пар. В этом случае энергия, требуемая для нагревания TowerMax, очень низкая — 1,07% пара на 1 т свеклы. Она уходит на систему циркуляции обезбещенного сока, а 0,85% пара на 1 т свеклы — на систему прессованного жома. Количество теплоты в значительной степени зависит от температуры поступающей стружки. При переработке замороженной

свеклы требуется дополнительная площадь поверхности нагрева циркулирующего и зеленого сока, что приводит к дополнительному потреблению энергии на 3,7–7,5% пара на 1 т свеклы в зависимости от вида теплоносителя [5].

Преимущества новой технологии экстракции сахара, разработанной Fives Cail. Компания Fives Cail разработала аппараты **EcoMixer** и **TowerMax** в соответствии с лучшими стандартами проектирования механического оборудования, технологических процессов и энергопотребления, используя свой 60-летний опыт проектирования и поставки оборудования для непрерывной диффузии в сахарной промышленности. Ниже представлены основные преимущества оборудования, разработанного Fives Cail:

- устойчивая конструкция в соответствии с нормами строительства и механической прочности;
- проверенный технологический процесс;

- ассортимент оборудования, охватывающий все потребности рынка;

- проектирование и изготовление в соответствии со стандартами качества Fives Cail и международными стандартами;

- локализация оборудования для обеспечения быстрой доставки и снижения затрат;

- уникальные рабочие характеристики: откачка диффузионного сока – 95–115% на 1 т свеклы; потери сахара – 0,20–0,25% на 1 т свеклы; ΔT стружка–зеленый сок – 10–15 °C; низкое энергопотребление – 1,3–1,9% на 1 т свеклы (если свекла не замороженная); производство качественного влажного жома для прессования;

- низкая температура зеленого сока, позволяющая уменьшить потери энергии;

- небольшая площадь, занимаемая установкой;

- минимальные требования к техническому обслуживанию;

- полностью автоматизированное оборудование;

- проектирование оборудования и его поставка в соответствии с требованиями заказчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hempelmann. R.* Tower 2000 A New Tower Extraction Concept, 30th Biennial Meeting. – American Society of Sugar Beet Technologists, 1999.

2. *Le Maout and Dedole.* The new Bogazylian beet factory: The new reference in modern technology// International Sugar Journal, 2007. – V. 10.

3. *Nobel D.* Beet Sugar Process Fundamentals – Diffusion and Pulp Pressing, 2007.

4. *Bubnik Z, Kadlec P, Urban D, Bruhns M.* Sugar Technologists Manual, Chemical and Physical Data for Sugar Manufacturers and Users. – Verlag Dr. Bartens KG, 1995.

5. *Thompson P.* Reducing Energy Consumption in Beet Factories, The European Experience and its Application to North America. – American Society of Sugar Beet Technologists, 1999.