

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201900331 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2019.12.30

(51) Int. Cl. C07C 5/333 (2006.01)
C07C 15/46 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2017.12.12

(54) СИСТЕМА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ЭТИЛБЕНЗОЛА

(31) 62/436,653

(32) 2016.12.20

(33) US

(86) PCT/US2017/065709

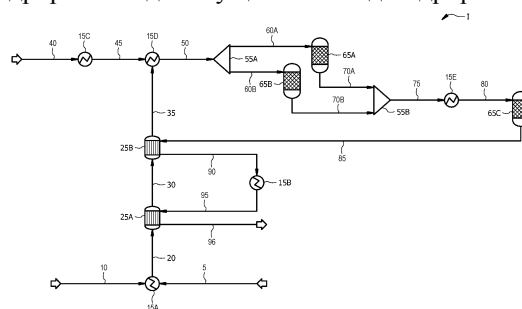
(87) WO 2018/118505 2018.06.28

(71) Заявитель:
ФИНА ТЕКНОЛОДЖИ, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Пелати Йозеф Е., Кларк Джейсон (US)

(74) Представитель:
Николаева О.А., Черникова О.В. (RU)

(57) Способ многоступенчатого дегидрирования, включающий контактирование на первой ступени потока исходного материала, содержащего углеводород и пар, с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования с получением выходящего потока первой ступени и нагревание выходящего потока первой ступени и контактирование на второй ступени нагретого выходящего потока первой ступени с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования с получением выходящего потока второй ступени, содержащего продукт дегидрирования, причем первая ступень содержит первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, и при этом вторая ступень содержит третий реактор, соединенный последовательно с первым реактором и вторым реактором. Также предложена система многоступенчатого дегидрирования для осуществления дегидрирования.



A1

201900331

201900331

A1

СИСТЕМА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ЭТИЛБЕНЗОЛА

Ссылка на родственные заявки

[0001] Настоящая заявка испрашивает приоритет в соответствии с параграфом 119(e) раздела 35 Свода законов США в отношении предварительной заявки на патент США № 62/436,653, поданной 20 декабря 2016 и озаглавленной «Система параллельных реакторов для дегидрирования этилбензола», описание которой во всей своей полноте включено в настоящий документ путем ссылки.

Заявление в отношении финансируемых на федеральном уровне исследований или разработок

[0002] Не применяется.

Ссылка на микрофишу в приложении

[0003] Не применяется.

Область техники

[0004] Раскрытые системы и способы относятся к реакциям дегидрирования, например, дегидрирования этилбензола с получением стирольного мономера. Более конкретно, раскрытые системы и способы относятся к многоступенчатому дегидрированию. В частности, раскрытые системы и способы относятся к многоступенчатому дегидрированию, включающему первую ступень, содержащую два реактора дегидрирования, расположенные параллельно, и последовательную вторую ступень, содержащую третий реактор дегидрирования.

Уровень техники

[0005] Стирол, представляющий собой исходный материал для основных полимерных продуктов, таких как полистирол, сополимер акрилонитрила, бутадиена и стирола, стирол-бутадиеновый каучук, и другие продукты, и расходуемый ежегодно в огромных количествах, является одним из представительных мономерных продуктов общего назначения. В традиционных производящих стирол установках использована реакционная система, содержащая два или три адиабатических реактора, соединенных последовательно, в сочетании с рядом печей и теплообменников. Стирол может быть получен путем дегидрирования этилбензола в присутствии перегретого водяного пара на

слое катализатора дегидрирования в реакторе. С учетом важности промышленного производства стирола существует постоянная потребность в улучшенных системах и способах для осуществления реакций дегидрирования, таких как дегидрирование этилбензола с получением стирола. Предпочтительно такие улучшенные системы и способы могли бы обеспечить снижение давления в реакторе, повышение селективности и желательной степени превращения и/или уменьшение потребляемой энергии, требуемой в расчете на единицу массы желательного продукта дегидрирования, как будет описано более подробно в настоящем документе.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

[0006] В настоящем документе раскрыт способ многоступенчатого дегидрирования, включающий контактирование на первой стадии, потока исходного материала, содержащего углеводород и пар, с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования для получения выходящего потока первой ступени; нагревание выходящего потока первой ступени; и контактирование, на второй ступени, нагретого выходящего потока первой ступени с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования для получения выходящего потока второй ступени, содержащего продукт дегидрирования, причем первая ступень содержит первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, и при этом вторая ступень содержит третий реактор, соединенный последовательно с первым реактором и вторым реактором. Согласно вариантам осуществления контактирование поток исходного материала на первой ступени включает контактирование первой части потока исходного материала с катализатором дегидрирования в первом реакторе для получения выходящего потока первого реактора и контактирование второй части потока исходного материала с катализатором дегидрирования во втором реакторе для получения выходящего потока второго реактора. Согласно вариантам осуществления способ дополнительно включает объединение выходящего потока первого реактора и выходящего потока второго реактора для получения выходящего потока первой ступени перед стадией нагревания. Согласно вариантам осуществления способ дополнительно включает теплообмен потока исходного материала с выходящим потоком второй ступени, в результате чего конденсируется часть выходящего потока второй ступени; сжатие выходящего потока второй ступени после стадии теплообмена и отделение продукта дегидрирования от выходящего потока второй ступени. Согласно вариантам осуществления полное дифференциальное давление способа многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полное дифференциальное давление аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и

третий реактор соединены последовательно, и при этом полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора. Согласно вариантам осуществления полная селективность способа многоступенчатого дегидрирования больше, чем полная селективность аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, и при этом полную селективность определяют следующим образом: [число молей желательного продукта (например, продукта дегидрирования), полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе] / [полное число молей подлежащего дегидрированию исходного материала (например, углеводорода), превращенного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе]. Согласно вариантам осуществления полная подводимая энергия способа многоступенчатого дегидрирования меньше чем полная подводимая энергия аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно. Согласно вариантам осуществления углеводород представляет собой этилбензол, и продукт дегидрирования содержит стирол. Согласно вариантам осуществления каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора представляет собой адиабатический реактор. Согласно вариантам осуществления для нагревания выходящего потока первой ступени используют теплообменник.

[0007] Кроме того, в настоящем документе раскрыта система многоступенчатого дегидрирования, содержащая поток исходного материала, содержащий углеводород и пар; первую ступень, содержащую первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, причем первый реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск первого реактора, который принимает часть потока исходного материала, и при этом второй реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск второго реактора, который принимает оставшуюся часть потока исходного материала, и при этом первая ступень своим действием превращает по меньшей мере часть углеводорода в продукт дегидрирования путем введения в контакт углеводорода с катализатором дегидрирования в первом и втором реакторах в условиях дегидрирования; межступенчатый нагреватель, соединенный по текучей среде с выпуском первого реактора первого реактора и принимающий выходящий поток первого реактора и, соединенный по текучей среде с выпуском второго реактора и принимающий выходящий поток второго реактора; вторую ступень, содержащую третий реактор, причем третий реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск третьего реактора, соединенный по текучей среде с нагревателем, и при этом вторая ступень своим действием превращает непрореагировавший углеводород, принятый из межступенчатого

нагревателя, в продукт дегидрирования путем введения в контакт непрореагировавшего углеводорода с катализатором дегидрирования в третьем реакторе в условиях дегидрирования для получения выходящего потока второй ступени, содержащего выходящий поток из третьего реактора. Согласно вариантам осуществления выходящий поток первого реактора и выходящий поток второго реактора объединяют для получения выходящего потока первой ступени, который поступает в межступенчатый нагреватель. Согласно вариантам осуществления межступенчатый нагреватель представляет собой теплообменник, который использует пар в качестве нагревающей текучей среды. Согласно вариантам осуществления система дополнительно включает первый теплообменник, который обменивает первое тепло между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала; и второй теплообменник, который обменивает второе тепло между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала. Согласно вариантам осуществления система дополнительно включает компрессор, расположенный ниже по потоку относительно первого теплообменника и второго теплообменника и выполненный с возможностью сжатия выходящего потока второй ступени; и разделительную систему, расположенную ниже по потоку относительно компрессора и выполненную с возможностью отделения продукта дегидрирования от выходящего потока второй ступени. Согласно вариантам осуществления полное дифференциальное давление способа многоступенчатого дегидрирования меньше чем полное дифференциальное давление аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора. Согласно вариантам осуществления полная селективность способа многоступенчатого дегидрирования больше, чем полная селективность аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полную селективность определяют следующим образом: [число молей желательного продукта (например, продукта дегидрирования), полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе] / [полное число молей подлежащего дегидрированию исходного материала (например, углеводорода), превращенного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе]. Согласно вариантам осуществления полная подводимая энергия способа многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полная подводимая энергия аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно. Согласно вариантам осуществления углеводород представляет собой этилбензол, и продукт дегидрирования содержит стирол. Согласно

вариантам осуществления каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора представляет собой адиабатический реактор.

[0008] Кроме того, в настоящем документе раскрыт способ многоступенчатого дегидрирования, включающий объединение пара и этилбензола с образованием потока исходного материала; нагревание потока исходного материала с получением нагретого потока исходного материала; разделение нагретого потока исходного материала на первую часть и вторую часть; введение первой части потока исходного материала в первый реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором этилбензол превращают в стирол; введение второй части потока исходного материала во второй реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором этилбензол превращают в стирол; выпуск из первого реактора первого выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол; выпуск из второго реактора второго выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол; объединение первого выходящего потока и второго выходящего потока в объединенный выходящий поток; нагревание объединенного выходящего потока с получением нагретого объединенного выходящего потока; введение нагретого объединенного выходящего потока в третий реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором по меньшей мере часть непрореагировавшего этилбензола, присутствующего в нагретом объединенном выходящем потоке, превращают в стирол; и выпуск из третьего реактора третьего выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол.

Краткое описание фигур

[0009] Подробное описание содержит ссылки на чертежи, кратко описанные ниже, на которых аналогичные ссылочные обозначения представляют аналогичные элементы.

[0010] На Фиг. 1 представлена технологическая блок-схема системы многоступенчатого дегидрирования согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

[0011] На Фиг. 2 представлена технологическая блок-схема системы многоступенчатого дегидрирования согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения.

[0012] На Фиг. 3 представлена технологическая блок-схема системы дегидрирования предшествующего уровня техники.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

[0013] Традиционные способы дегидрирования (например, дегидрирования этилбензола) обычно включают разбавление паром, применение пониженного давления и адиабатические реакторы. Для эндотермических реакций между адиабатическими реакторами расположены подогреватели. Реакции дегидрирования может благоприятствовать низкое давление, и, таким образом, реакторы, как правило, эксплуатируют при пониженном давлении (т.е. в условиях вакуума), устанавливая компрессор (например, вакуумный компрессор) на выпускной трубопровод. Традиционные трехреакторные системы имеют последовательную конфигурацию и представляют собой обычные варианты усовершенствования для увеличения производительности установки. Например, дегидрирование этилбензола представляет собой эндотермическую реакцию, которую осуществляют, используя разбавление паром и последовательные адиабатические реакторы с подогревателями, расположенными между реакторами.

[0014] Как отмечено выше в настоящем документе, для традиционного дегидрирования используют три реактора дегидрирования, расположенные последовательно. Неожиданно было обнаружено, что параллельное расположение первых двух реакторов системы многоступенчатого дегидрирования и последующее объединение потоков соответствующих продуктов для введения в общий третий реактор может обеспечить снижение полного давления в реакторе, уменьшение энергопотребления и/или повышение селективности в отношении продукта при сохранении желательной степени превращения. Хотя ниже в настоящем документе это описано в отношении дегидрирования этилбензола с получением стирольного мономера, для специалистов в данной области техники является очевидным, что раскрытые в настоящем документе система и способ могут оказаться подходящими для разнообразных реакций дегидрирования.

[0015] Прежде всего, следует понимать, что несмотря на представленные иллюстративные варианты осуществления одного или нескольких аспектов, описанные сборки, системы и способы могут быть осуществлены с применением любого числа технологий, в том числе известных в настоящее время или еще не существующих. Настоящее изобретение не должно быть никаким образом ограничено иллюстративными вариантами осуществления чертежами и технологиями, представленными ниже, но может быть модифицировано в пределах объема прилагаемой формулы изобретения вместе с полным объемом соответствующих эквивалентов. Несмотря на представленные значения размеров различных элементов, чертежи могут не соответствовать действительному масштабу.

[0016] В настоящем документе раскрыты система и способ многоступенчатого дегидрирования. В системе и способе использованы три реактора, из которых первые два реактора расположены параллельно и питают последовательно расположенный третий реактор, как ниже описано более подробно. Как отмечено выше в настоящем документе, такое параллельное расположение первых двух реакторов может обеспечить снижение полного давления в реакторе, уменьшение энергопотребления и/или повышение селективности.

[0017] В настоящем документе раскрыта система для многоступенчатого дегидрирования. Система содержит первую ступень, содержащую первый реактор дегидрирования и второй реактор дегидрирования, расположенные параллельно; вторую ступень, соединенную последовательно с первой ступенью и содержащую третий реактор дегидрирования; и межступенчатый нагреватель, соединенный по текучей среде с выпуском каждого из первого реактора дегидрирования и второго реактора дегидрирования и выполненный с возможностью повышения температуры выходящего потока из реактора и введения имеющего повышенную температуру выходящего потока из реактора в третий реактор дегидрирования. Система может дополнительно содержать один или несколько нагревателей, которые дополняют межступенчатый нагреватель, один или несколько теплообменников, один или несколько разделителей потока или смесителей и разнообразные технологические устройства, расположенные ниже по потоку, такие как компрессоры и сепараторы, выполненные с возможностью отделения продукта многоступенчатого дегидрирования от выходящего потока из реактора, полученного из третьего реактора. Например, согласно вариантам осуществления, описанным ниже в настоящем документе со ссылкой на Фиг. 1, система многоступенчатого дегидрирования согласно настоящему изобретению может содержать первый теплообменник, выполненный с возможностью обмена первого тепла между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала, и может дополнительно содержать второй теплообменник, выполненный с возможностью обмена второго тепла между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала. Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения многоступенчатая система дополнительно содержит компрессор, расположенный ниже по потоку относительно третьего реактора, первого теплообменника и/или второго теплообменника и выполненный с возможностью сжатия выходящего потока второй ступени, и согласно вариантам осуществления может также содержать разделительную систему, расположенную ниже по потоку относительно компрессора и выполненную с возможностью отделения продукта дегидрирования от выходящего потока второй

ступени. Каждый из упомянутых выше в настоящем документе компонентов системы согласно настоящему изобретению далее будет описан более подробно со ссылкой на вариант осуществления, представленный на Фиг. 1.

[0018] На Фиг. 1 представлена технологическая блок-схема системы I многоступенчатого дегидрирования согласно варианту осуществления настоящего изобретения. Система I многоступенчатого дегидрирования содержит реакторы первой и второй последовательных ступеней, причем каждая ступень превращает по меньшей мере часть углеводорода в потоке исходного материала, содержащем углеводород и пар, в продукт дегидрирования путем введения в контакт углеводорода с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования. Первая реакторная ступень системы I многоступенчатого дегидрирования содержит первый реактор дегидрирования 65A и второй реактор дегидрирования 65B, расположенные параллельно, и вторая реакторная ступень системы I многоступенчатого дегидрирования содержит третий реактор дегидрирования 65C. Система I многоступенчатого дегидрирования дополнительно содержит первый нагреватель 15A, второй нагреватель 15B, третий нагреватель 15C, четвертый нагреватель 15D, межступенчатый нагреватель 15E (также называемый в настоящем документе термином «пятый нагреватель 15E»), разделитель потока 55A, смеситель 55B, первый теплообменник 25A и второй теплообменник 25B. Каждый из компонентов системы I многоступенчатого дегидрирования будет описан более подробно ниже в настоящем документе.

[0019] Первый нагреватель 15A выполнен с возможностью получения выходящего потока первого нагревателя в выпускном трубопроводе 20 первого нагревателя путем объединения углеводородного исходного материала, введенного в него через впускающий углеводородный исходный материал трубопровод 10, и исходного пара, введенного в него через впускающий исходный пар трубопровод 5. Первый нагреватель 15A выполнен с возможностью испарения введенного в него углеводородного исходного материала и, таким образом, также иногда называется в настоящем документе термином «смешивающий исходный пар блок 15A». Первый нагреватель 15A соединен по текучей среде с первым теплообменником 25A через выпускной трубопровод 20 первого нагревателя. Первый теплообменник 25A выполнен с возможностью теплообмена между выходящим потоком первого нагревателя в выпускном трубопроводе 20 первого нагревателя и выходящим потоком второго нагревателя в выпускном трубопроводе 95 второго нагревателя. Поскольку первый теплообменник 25A выполнен с возможностью испарения углеводорода, введенного в него через выпускной трубопровод 20 первого нагревателя, первый теплообменник 25A иногда называется в настоящем документе

термином «испаритель 25А исходного материала для реактора». Выпускной трубопровод 96 первого теплообменника выполнен с возможностью удаления выходящего потока, содержащий продукт дегидрирования, из первого теплообменника 25А, и выпускной трубопровод первого теплообменника 30 выполнен с возможностью удаления выходящего потока, содержащего исходный материал для реактора, из первого теплообменника 25А.

[0020] Первый теплообменник 25А соединен по текучей среде со вторым теплообменником 25В через выпускной трубопровод первого теплообменника 30 и выполнен с возможностью теплообмена между выходящим потоком первого теплообменника, содержащим исходный материал для реактора, в выпускном трубопроводе первого теплообменника 30 и выходящим потоком третьего реактора, выпускаемым из третьего реактора дегидрирования 65С через выпускной трубопровод 85 третьего реактора. Выпускной трубопровод 90 второго теплообменника выполнен с возможностью удаления выходящего потока, содержащего продукт дегидрирования, из второго теплообменника 25В, и выпускной трубопровод второго теплообменника 35 выполнен с возможностью удаления выходящего потока, содержащего исходный материал для реактора, из второго теплообменника 25В. Поскольку второй теплообменник 25В выполнен с возможностью теплопереноса от выходящего потока третьего реактора дегидрирования, выводимого из третьего реактора дегидрирования 65С через выпускной трубопровод 85 третьего реактора, и выходящего потока первого теплообменника, содержащего исходный материал для реактора в выпускном трубопроводе первого теплообменника 30, второй теплообменник 25В также называется в настоящем документе термином «теплообменник 25В исходного материала для реактора/выходящего потока». Второй нагреватель 15В может быть выполнен с возможностью приема и нагрева выходящего потока второго теплообменника, содержащего продукт дегидрирования, введенный в него через выпускной трубопровод 90 второго теплообменника, и обеспечения выходящего потока второго нагревателя, выводимого из него через выпускной трубопровод 95 второго нагревателя. Поскольку второй нагреватель 15В может быть выполнен с возможностью получения пара высокого давления (ВД), второй нагреватель 15В может называться в настоящем документе термином «парогенератор ВД 15В».

[0021] Третий нагреватель 15С выполнен с возможностью получения выходящего потока третьего нагревателя из разбавляющего пара, вводимого через впускной трубопровод 40 разбавляющего пара. Поскольку третий нагреватель 15С может быть выполнен с возможностью перегрева разбавляющего пара, вводимого в него через впускной трубопровод 40 разбавляющего пара, третий нагреватель 15С может называться

в настоящем документе термином «первый пароперегреватель 15С». Третий нагреватель 15С соединен по текучей среде с четвертым нагревателем 15D через выпускной трубопровод 45 третьего нагревателя. Четвертый нагреватель 15D выполнен с возможностью получения выходящий поток четвертого нагревателя из разбавляющего пара, вводимого в него через выпускной трубопровод 45 третьего нагревателя, и углеводородного исходного материала, вводимого в него через выпускной трубопровод второго теплообменника 35. Поскольку четвертый нагреватель 15D обеспечивает смешивание разбавляющего пара (т.е. содержимое трубопровода 35 и трубопровода 45 объединяют и выводят через выпускной трубопровод 50), четвертый нагреватель 15D может называться в настоящем документе термином «смешивающий разбавляющий пар блок 15D». Выпускной трубопровод 50 четвертого нагревателя (также называется в настоящем документе термином «впускной трубопровод 50 первой ступени») соединяет по текучей среде четвертый нагреватель 15D и разделитель потока 55А и выполнен с возможностью выпуска исходного материала для реактора первой ступени из четвертого нагревателя 15D и его введения в разделитель потока 55А.

[0022] Разделитель потока 55А выполнен с возможностью разделения исходного материала для реактора первой ступени, вводимого в него через трубопровод 50 выходящего потока четвертого нагревателя, для введения в параллельные реакторы дегидрирования 65А и 65В. Разделитель потока 55А соединен по текучей среде с первым реактором дегидрирования 65А через впускной трубопровод 60А первого реактора дегидрирования, и со вторым реактором дегидрирования 65В через впускной трубопровод 60В второго реактора дегидрирования.

[0023] Первый реактор дегидрирования 65А содержит катализатор дегидрирования, и содержит впуск первого реактора, который принимает через впускной трубопровод 60А первого реактора дегидрирования часть исходного материала первой ступени, содержащего углеводород и пар, во впускном трубопроводе 50 первой ступени; второй реактор дегидрирования 65В также содержит катализатор дегидрирования и содержит впуск второго реактора, который принимает через впускной трубопровод 60В второго реактора дегидрирования оставшуюся часть исходного материала первой ступени, содержащего углеводород и пар, во впускном трубопроводе 50 первой ступени.

[0024] Первый реактор дегидрирования 65А соединен по текучей среде через выпуск первого реактора со смесителем 55В; второй реактор дегидрирования 65В соединен по текучей среде через выпуск второго реактора со смесителем 55В. Смеситель 55В выполнен с возможностью объединения выходящего потока первого реактора дегидрирования, выводимого из первого реактора дегидрирования 65А через выпускной

трубопровод 70А первого реактора, и выходящего потока второго реактора дегидрирования, выводимого из второго реактора дегидрирования 65В через выпускной трубопровод 70В второго реактора, с получением объединенный выходящий поток из реакторов первой ступени. Смеситель 55В соединен по текучей среде через объединенный выпускной трубопровод 75 первой ступени с пятым нагревателем 15Е (также называется в настоящем документе термином «межступенчатый нагреватель 15Е» или «подогреватель 15Е третьего реактора»). Пятый нагреватель 15Е выполнен с возможностью увеличения температуры выходящего потока первой ступени, вводимого в него через выпускной трубопровод 75 первой ступени перед введением во вторую ступень, содержащую третий реактор 65С дегидрирования. Впускной трубопровод 80 третьего реактора (также называется в настоящем документе термином «впускной трубопровод 80 второй ступени») соединяет по текучей среде пятый нагреватель 15Е с третьим реактором дегидрирования 65С.

[0025] Как отмечено выше в настоящем документе, выпускной трубопровод 85 третьего реактора, содержащий продукт дегидрирования, соединяет по текучей среде третий реактор дегидрирования 65С со вторым теплообменником 25В. Кроме того, как отмечено выше в настоящем документе (и не показано на Фиг. 1), система I многоступенчатого дегидрирования может дополнительно содержать расположенное ниже по потоку технологическое устройство, которое известно специалистам в данной области техники. В качестве неограничивающего примера, система многоступенчатого дегидрирования согласно настоящему изобретению может дополнительно содержать компрессор, выполненный с возможностью введения в него выходящего потока третьего реактора (например, через выпускной трубопровод 96 первого теплообменника), и разделительные блоки, выполненные с возможностью отделения продукта дегидрирования от воды и разнообразных побочных продуктов реакции.

[0026] Система II многоступенчатого дегидрирования согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения проиллюстрирована на технологической блок-схеме Фиг. 2. Согласно этому варианту осуществления впускной трубопровод 40' разбавляющего пара выполнен с возможностью введения исходного разбавляющего пара в третий нагреватель 15С' (также называется в настоящем документе термином «первый пароперегреватель 15С'»), который согласно этому варианту осуществления соединен по текучей среде с третьим теплообменником 25С' через выпускной трубопровод 45' третьего нагревателя. Трубопровод 41' может соединять по текучей среде третий теплообменник 25С' со смешивающим разбавляющий пар блоком 15D через третий нагреватель 15С и выпускной трубопровод 45 третьего нагревателя. Третий нагреватель

15C будет обеспечивать дополнительное подогревание перед смешиванием с углеводородным потоком, который поступает в первый блок реакторов. Согласно этому варианту осуществления межступенчатый нагреватель содержит теплообменник 25C'. Этот вариант осуществления может обеспечивать дополнительное энергетическое преимущество по сравнению с вариантом осуществления на Фиг. 1 и по сравнению с традиционным вариантом осуществления на Фиг. 3, который описанный ниже в настоящем документе, вследствие улучшенной утилизации тепла и несколько меньшей полной подводимой энергии.

[0027] Реакторы дегидрирования 65A, 65B и 65C могут представлять собой любые реакторы дегидрирования, известные специалистам в данной области техники. Согласно вариантам осуществления реакторы дегидрирования 65A, 65B и 65C представляют собой адиабатические реакторы. Реакторы дегидрирования 65A, 65B и 65C содержат катализатор дегидрирования, подходящий для катализа дегидрирования углеводорода в углеводородном исходном материале с получением продукта дегидрирования. Согласно вариантам осуществления катализатор дегидрирования представляет собой катализатор, выполненный с возможностью дегидрирования этилбензола в углеводородном исходном материале с получением продукта дегидрирования, содержащего стирол. Специалист в данной области техники сможет обеспечить очевидный выбор подходящего катализатора дегидрирования на основании заданных условий реактора. Согласно вариантам осуществления катализатор дегидрирования содержит оксид железа(III), промотируемый оксидом калия или карбонатом калия, оксидами редкоземельных металлов и/или другими неорганическими промоторами, улучшающими эксплуатационные характеристики. Согласно вариантам осуществления катализатор дегидрирования представляет собой гетерогенную каталитическую систему, подходящую для эксплуатации в условиях разбавления паром, пониженного давления и высокой температуры для преодоления равновесных ограничений и эндотермической реакции.

[0028] Нагреватели 15A, 15B, 15C, 15C', 15D и 15E могут представлять собой любые нагреватели, известные специалистам в данной области техники. Согласно вариантам осуществления в качестве одного или нескольких из нагревателей 15A, 15B, 15C, 15C', 15D и 15E выбирают огневые трубчатые нагреватели или печи. Согласно вариантам осуществления в качестве одного или нескольких из нагревателей 15A, 15B, 15C, 15C', 15D и 15E выбирают теплообменники. Согласно вариантам осуществления в качестве одного или нескольких из нагревателей 15A, 15B, 15C, 15C', 15D и 15E выбирают теплообменники, которые используют пар в качестве нагревающей текучей среды. Согласно вариантам осуществления второй нагреватель 15B представляет собой

парогенератор ВД. Согласно вариантам осуществления третий нагреватель 15С и/или третий нагреватель 15С' представляют собой пароперегреватели. Согласно вариантам осуществления межступенчатый нагреватель 15Е содержит стандартный печной подогреватель. Согласно вариантам осуществления межступенчатый нагреватель 15Е содержит теплообменник.

[0029] Теплообменники 25А, 25В и 25С' могут представлять собой любые теплообменники, известные специалистам в данной области техники как подходящие для теплообмена между технологическим потоком и теплообменной текучей средой. Согласно вариантам осуществления теплообменная текучая среда представляет собой пар. Согласно вариантам осуществления теплообменная текучая среда представляет собой другой технологический поток (например, выходящий поток третьего реактора в выпускном трубопроводе 85 третьего реактора, выходящий поток второго теплообменника в выпускном трубопроводе 90 второго теплообменника или выходящий поток второго нагревателя в выпускном трубопроводе 95 второго нагревателя). Согласно вариантам осуществления в качестве теплообменников 25А, 25В и/или 25С' выбирают кожухотрубные теплообменники.

[0030] В качестве сравнения, традиционная система дегидрирования III предшествующего уровня техники проиллюстрирована на Фиг. 3 и будет приведена в качестве сравнения в примерах, представленных ниже в настоящем документе. Нумерация на Фиг. 3, как правило, соответствует нумерации на Фиг. 1 и 2, за исключением того, что указано ниже (в частности, в отношении пятого нагревателя 115Е), причем компоненты на Фиг. 3 увеличены на 100, например, компонент 105 на Фиг. 3 соответствует компоненту 5 на Фиг. 1 и 2.

[0031] В традиционной системе дегидрирования III первый реактор дегидрирования 165А, второй реактор дегидрирования 165В и третий реактор дегидрирования 165С соединены последовательно. В этой конфигурации выходящий поток четвертого нагревателя в выпускном трубопроводе четвертого нагревателя 150 не вводят в разделитель потока, но вместо этого полностью вводят в первый реактор дегидрирования 165А. Выходящий поток первого реактора дегидрирования вводят через выпускной трубопровод 170А первого реактора во второй реактор дегидрирования 165В через третий теплообменник 125С и выпускной трубопровод 127 третьего теплообменника. Третий теплообменник 125С выполнен с возможностью теплообмена между выходящим потоком первого реактора в выпускном трубопроводе 170А первого реактора и паром в выходящем потоке пятого нагревателя в выпускном паропроводе 129 пятого нагревателя. Поскольку третий теплообменник 125С служит для подогревания

реагентов перед вторым реактором дегидрирования 165В, третий теплообменник 125С может называться в настоящем документе термином «подогреватель 125С реактор 1/реактор 2». Выходящий поток второго реактора дегидрирования вводят через выпускной трубопровод второго реактора 170В в третий реактор дегидрирования 165С через четвертый теплообменник 125D и впускной трубопровод 180 третьего реактора. Поскольку четвертый теплообменник 125D выполнен с возможностью обеспечения нагретого исходного материала для третьего реактора дегидрирования 165С, четвертый теплообменник 125D также называется в настоящем документе термином «подогреватель 125D реактор 2/реактор 3».

[0032] Вводящий исходный разбавляющий пар трубопровод 140' выполнен с возможностью введения разбавляющего пара в третий нагреватель 115С', который выполнен с возможностью нагрева разбавляющего пара. Поскольку третий нагреватель 115С' может быть выполнен с возможностью перегрева разбавляющего пара, вводимого в него, третий нагреватель 115С' может называться в настоящем документе термином «первый пароперегреватель 115С'». Выпускной трубопровод третьего нагревателя 145' соединяет по текучей среде третий нагреватель 115С' с четвертым теплообменником 125D, который выполнен с возможностью теплопереноса от пара в выпускном трубопроводе третьего нагревателя 145' в выходящий поток второго реактора, вводимый в четвертый теплообменник 125D через выпускной трубопровод второго реактора 170В, чтобы, таким образом, нагревать выходящий поток второго реактора для введения в третий реактор дегидрирования 165С через впускной трубопровод 180 третьего реактора и обеспечивать выпуск охлажденного пара из четвертого теплообменника 125D через выпускной паропровод 128 четвертого теплообменника. Выпускной паропровод 128 четвертого теплообменника соединяет по текучей среде четвертый теплообменник 125D с пятым нагревателем 115Е (который не представляет собой межступенчатый нагреватель в этом традиционном случае), который выполнен с возможностью нагрева охлажденного пара, вводимого в него. Поскольку пятый нагреватель 115Е может своим действием обеспечивать перегретый пар, пятый нагреватель 115Е может называться в настоящем документе термином «второй пароперегреватель 115Е». Выпускной трубопровод 129 пятого нагревателя соединяет по текучей среде пятый нагреватель 115Е с третьим теплообменником 125С, который, как отмечено выше в настоящем документе, выполнен с возможностью теплообмена между выходящим потоком первого реактора в выпускном трубопроводе 170А первого реактора и паром в выходящем потоке пятого нагревателя в выпускном паропроводе 129 пятого нагревателя. Выпускной паропровод 126 третьего теплообменника соединяет по текучей

среде третий теплообменник 125С с шестым нагревателем 115F, который выполнен с возможностью нагревания охлажденного пара, вводимого в него через выпускной паропровод 126 третьего теплообменника, перед их соединением в четвертом нагревателе 155D с выходящим потоком второго теплообменника, содержащим исходный материал для реактора в выпускном трубопроводе второго теплообменника 135. Поскольку шестой нагреватель 115F может быть выполненный с возможностью перегрева пара, вводимого в него, шестой нагреватель 115F может называться в настоящем документе термином «третий пароперегреватель 115F».

[0033] Компоненты 105 (впускающий исходный пар трубопровод), 110 (впускающий углеводородный исходный материал трубопровод), 115А («первый нагреватель» или «смешивающий исходный пар блок»), 115В («второй нагреватель» или «парогенератор ВД»), 120 (выпускной трубопровод первого нагревателя), 125А («первый теплообменник» или «испаритель исходного материала для реактора»), 125В («второй теплообменник» или «теплообменник исходного материала для реактора/выходящего потока»), 130 (выпускной трубопровод первого теплообменника, содержащий исходный материал для реактора), 190 (выпускной трубопровод второго теплообменника, содержащий продукты дегидрирования), 195 (выпускной трубопровод второго нагревателя включающий продукт дегидрирования), и 196 (выпускной трубопровод первого теплообменника, содержащий продукт дегидрирования) на Фиг. 3 являются такими, как описано со ссылкой на компоненты 5, 10, 15А, 15В, 20, 25А, 25В, 30, 90, 95 и 96 на Фиг. 1 и 2.

[0034] Кроме того, в настоящем документе раскрыт способ многоступенчатого дегидрирования. Способ многоступенчатого дегидрирования включает контактирование, на первой ступени потока исходного материала, содержащего углеводород и пар, с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования для получения выходящего потока первой ступени; нагревание выходящего потока первой ступени; и контактирование, на второй ступени, нагретого выходящего потока первой ступени с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования для получения выходящего потока второй ступени, содержащего продукт дегидрирования, причем первая ступень содержит первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, и при этом вторая ступень содержит третий реактор, соединенный последовательно с первым реактором и вторым реактором. Согласно вариантам осуществления углеводород представляет собой этилбензол, и продукт дегидрирования содержит стирол. Согласно вариантам осуществления каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора эксплуатируют в адиабатическом режиме.

[0035] Далее со ссылкой на Фиг. 1 будет представлено более подробное описание способа многоступенчатого дегидрирования согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

[0036] Вводимый исходный пар во впускающем исходный пар трубопроводе 5 и углеводородный исходный материал во впускающем углеводородный исходный материал трубопроводе 10 объединяют в первом нагревателе 15А, в котором углеводород испаряют, получая выходящий поток первого нагревателя, содержащий испарившийся углеводородный исходный материал, который выводят из первого нагревателя 15А через выпускной трубопровод 20 первого нагревателя. Путем пропускания через первый теплообменник 25А и второй теплообменник 25В происходит теплообмен между испарившимся углеводородным исходным материалом и выходящим потоком третьего реактора (т.е. потоком продукта) в выпускном трубопроводе 85 третьего реактора. В первом теплообменнике 25А происходит теплообмен между испарившимся углеводородным исходным материалом в выпускном трубопроводе 20 первого нагревателя и выходящим потоком второго нагревателя, содержащим продукт дегидрирования в выпускном трубопроводе 95 второго нагревателя. Продукт дегидрирования выводят из первого теплообменника 25А через выпускной трубопровод 96 первого теплообменника, и выходящий поток первого теплообменника, содержащий исходный материал для реактора, выводят из первого теплообменника 25А через выпускной трубопровод 30 первого теплообменника. Дополнительный теплообмен углеводородного исходного материала, выводимого из первого теплообменника 25А через выпускной трубопровод 30 первого теплообменника, обеспечивают путем его введения во второй теплообменник 25В и теплообмена с потоком продукта, выводимого из третьего реактора дегидрирования 65С через выпускной трубопровод 85 третьего реактора. Продукт дегидрирования выводят из второго теплообменника 25В через выпускной трубопровод 90 второго теплообменника, и после дополнительного теплообмена углеводородный исходный материал выводят из второго теплообменника 25В через выпускной трубопровод 35 второго теплообменника. Температуру продукта реакции (т.е. теплообменной среды) в выпускном трубопроводе 90 второго теплообменника можно регулировать путем пропускания через второй нагреватель 15В перед введением в первый теплообменник 25А через выпускной трубопровод 95 второго нагревателя.

[0037] Разбавляющий пар, вводимый через впускной трубопровод 40 разбавляющего пара, перегревают в третьем нагревателе 15С, и перегретый пар, выводимый из третьего нагревателя 15С через выпускной трубопровод 45 третьего нагревателя объединяют в четвертом нагревателе 15D с исходным углеводородом/паром в

выпускном трубопроводе 35 второго теплообменника. Поток исходного материала для первой ступени, содержащий углеводород и пар, выводят из четвертого нагревателя 15D через выпускной трубопровод 50 четвертого нагревателя.

[0038] Разделитель 55A служит для разделения потока исходного материала первой ступени на первую часть, которую вводят через впускной трубопровод 60A первого реактора дегидрирования в первый реактор дегидрирования 65A, и вторую или остальную часть, которую вводят через впускной трубопровод 60B второго реактора дегидрирования во второй реактор дегидрирования 65B, который работает параллельно с первым реактором дегидрирования 65A. Доли потока исходного материала первой ступени, вводимые в каждый из первого и второго реакторов дегидрирования, могут зависеть от их объемов. Например, в усовершенствованном приложении, в котором первый реактор дегидрирования 65A и второй реактор дегидрирования 65B имеют различные размеры, соотношение разделения можно регулировать соответствующим образом. Согласно вариантам осуществления приблизительно половину потока исходного материала первой ступени вводят в первый реактор дегидрирования 65A, и приблизительно половину потока исходного материала первой ступени вводят во второй реактор дегидрирования 65B. Согласно вариантам осуществления первый реактор дегидрирования 65A и второй реактор дегидрирования 65B имеют приблизительно равные объемы.

[0039] Как отмечено выше в настоящем документе, первый и второй реакторы дегидрирования 65A и 65B содержат катализатор дегидрирования, подходящий для катализа дегидрирования углеводорода в потоке исходного материала первой ступени в присутствии пара с получением продукта дегидрирования. Продукт дегидрирования и непрореагировавший углеводород выводят из первого реактора дегидрирования 65A и второго реактора дегидрирования 65B через выпускной трубопровод 70A первого реактора и выпускной трубопровод 70B второго реактора, соответственно. Потоки продуктов первого реактора дегидрирования 65A и второго реактора дегидрирования 65B объединяют в смесителе 55B, получая объединенный выходящий поток первой ступени, который выводят из смесителя 55B через впускной трубопровод 75 межступенчатого или пятого нагревателя.

[0040] Объединенный выходящий поток первой ступени вводят через впускной трубопровод 75 межступенчатого или пятого нагревателя в межступенчатый или пятый нагреватель 15E, который служит для нагревания выходящего потока первой ступени до температуры, подходящей для эксплуатации третьего реактора дегидрирования 65C, получая, таким образом, третий исходный материал для реактора (также называется в настоящем документе термином «исходный материал для реактора второй ступени»),

который выводят из межступенчатого нагревателя 15E через впускной трубопровод 80 третьего реактора или второй ступени. Хотя он показан на Фиг. 1 как нагреватель, межступенчатый нагреватель 15E можно эксплуатировать путем любой стандартной технологии подогревания с применением теплообменника согласно варианту осуществления, представленному на Фиг. 2 и дополнительно обсуждаемому ниже в настоящем документе. Согласно вариантам осуществления объединенный выходящий поток первой ступени нагревают путем теплообмена в межступенчатом или пятом нагревателе 15E.

[0041] Как отмечено выше в настоящем документе, третий реактор дегидрирования 65C содержит катализатор дегидрирования, подходящий для катализа дегидрирования непрореагировавшего углеводорода в исходном материале второй ступени в присутствии пара при его введении в него через впускной трубопровод 80 второй ступени. Выходящий поток второй ступени, содержащий продукт дегидрирования и любой оставшийся непрореагировавший углеводород выводят из третьего реактора дегидрирования 65C через выпускной трубопровод 85 третьего реактора. Как отмечено выше, выходящий поток второй ступени, выводимый из третьего реактора дегидрирования 65C, может быть подвергнут сжатию и разделению продуктов в целях отделения продукта дегидрирования от воды и любых побочных продуктов реакции. Согласно вариантам осуществления, как отмечено выше в настоящем документе, выходящий поток второй ступени можно подвергать теплообмену с вводимым исходным углеводородом/паром, конденсируя, таким образом, по меньшей мере часть выходящего потока второй ступени перед его сжатием и/или разделением соответствующих продуктов. Например, как обсуждается выше, теплообмен может быть осуществлен во втором теплообменнике 25B между выходящим потоком второй ступени в выпускном трубопроводе 85 третьего реактора и исходным углеводородом/паром в выпускном трубопроводе 30 первого теплообменника, и дополнительный теплообмен может быть осуществлен в первом теплообменнике 25A между выходящим потоком второго теплообменника в выпускном трубопроводе 90 второго теплообменника и исходным углеводородом/паром в выпускном трубопроводе 20 первого нагревателя. Температуру выходящего потока второго теплообменника в выпускном трубопроводе 90 второго теплообменника можно регулировать путем пропускания через второй нагреватель 15B, перед введением в первый теплообменник 25A через выпускной трубопровод 95 второго нагревателя.

[0042] Далее способ дегидрирования согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения будет описан со ссылкой на Фиг. 2. Согласно этому варианту осуществления разбавитель исходного материала вводят через впускной трубопровод 40'

разбавляющего пара в третий нагреватель 15С', и соответствующим образом нагретый пар вводят через выпускной трубопровод 45' третьего нагревателя в третий теплообменник 25С', выполненный с возможностью нагревания объединенного выходящего потока первой ступени в объединенном выпускном трубопроводе 75 первой ступени перед его введением в третий реактор дегидрирования 65С через впускной трубопровод 80 второй ступени. После теплообмена разбавляющий пар, выводимый из третьего теплообменника 25С' через трубопровод 41', может быть объединен в четвертом нагревателе 15D с прошедшим теплообмен исходным углеводородом/паром в выпускном трубопроводе 35 второго теплообменника через третий нагреватель 15С и выпускной трубопровод 45 третьего нагревателя.

[0043] Для сравнения краткое описание традиционного способа дегидрирования будет далее представлено со ссылкой на Фиг. 3. Как отмечено выше, в традиционных способах дегидрирования используют реакторы дегидрирования, расположенные последовательно, а не параллельно. Подготовка исходного углеводорода/пара перед введением в четвертый нагреватель или «смешивающий разбавляющий пар блок» 115D включает объединение вводимого исходного пара во впускающем исходный пар трубопроводе 105 и углеводородного исходного материала во впускающем углеводородный исходный материал трубопроводе 110 в первом нагревателе 115А, в котором углеводород испаряют, получая выходящий поток первого нагревателя, содержащий испарившийся углеводородный исходный материал, который выводят из первого нагревателя 115А через выпускной трубопровод первого нагревателя 120. Путем пропускания через первый теплообменник 125А и второй теплообменник 125В осуществляют теплообмен между испарившимся углеводородным исходным материалом и выходящим потоком третьего реактора (т.е. потоком продукта) в выпускном трубопроводе 185 третьего реактора. В первом теплообменнике 125А осуществляют теплообмен между испарившимся углеводородным исходным материалом в выпускном трубопроводе 120 первого нагревателя и выходящим потоком второго нагревателя в выпускном трубопроводе 195 второго нагревателя. Продукт реакции выводят из первого теплообменника 125А через выпускной трубопровод 196 первого теплообменника, и после теплообмена углеводородный исходный материал выводят из первого теплообменника 125А через выпускной трубопровод 130 первого теплообменника. Дополнительный теплообмен углеводородного исходного материала, выводимого из первого теплообменника 125А через выпускной трубопровод 130 первого теплообменника, осуществляют путем его введения во второй теплообменник 125В и теплообмена с потоком продукта, выводимого из третьего реактора дегидрирования 165С

через выпускной трубопровод 185 третьего реактора. Продукт реакции выводят из второго теплообменника 125В через выпускной трубопровод 190 второго теплообменника, и после дополнительного теплообмена углеводородный исходный материал выводят из второго теплообменника 125В через выпускной трубопровод 135 второго теплообменника. Температуру продукта реакции (т.е. теплообменной среды) в выпускном трубопроводе 190 второго теплообменника можно регулировать путем пропускания через второй нагреватель 115В перед введением в первый теплообменник 125А через выпускной трубопровод 195 второго нагревателя.

[0044] Выходящий поток шестого нагревателя, содержащий разбавляющий пар и прошедший теплообмен исходный углеводород/пар, вводят в четвертый нагреватель 115D через выпускной трубопровод 116 шестого нагревателя и выпускной трубопровод 135 второго теплообменника, соответственно. Исходный материал для реактора вводят в первый реактор дегидрирования 165А через выпускной трубопровод 150 четвертого нагревателя. Продукт дегидрирования первого реактора дегидрирования 165А, выводимый из него через выпускной трубопровод 170А первого реактора, нагревают путем теплообмена с паром в выпускном паропроводе 129 пятого нагревателя в третьем теплообменнике 125С. После теплообмена пар выводят из третьего теплообменника 125С через выпускной паропровод 126 третьего теплообменника, и его температуру повышают путем пропускания через шестой нагреватель 115F перед введением в четвертый нагреватель 115D через выпускной трубопровод 116 шестого нагревателя. Имеющий повышенную температуру продукт дегидрирования из первого реактора дегидрирования 165А вводят в качестве исходного материала во второй реактор дегидрирования 165В через выпускной трубопровод 127 третьего теплообменника.

[0045] Продукт дегидрирования второго реактора дегидрирования 165В, выводимый из него через выпускной трубопровод 170В второго реактора, нагревают путем теплообмена с паром в выпускном трубопроводе третьего нагревателя 145' в четвертом теплообменнике 125D. Прошедший теплообмен пар может быть выведен из четвертого теплообменника 125D через выпускной паропровод 128 четвертого теплообменника, и его температуру повышают путем пропускания через пятый нагреватель 115Е перед введением в третий теплообменник 125С через выпускной паропровод 129 пятого нагревателя. Имеющий повышенную температуру продукт дегидрирования из второго реактора дегидрирования 165В вводят в качестве исходного материала в третий реактор дегидрирования 165С через выпускной трубопровод 180 третьего реактора.

[0046] В традиционном способе, представленном на Фиг. 3, исходный разбавляющий пар во впускающем разбавляющий пар трубопроводе 140' перегревают в третьем нагревателе 115С' и соответствующим образом нагревают. В традиционном способе перегретый пар, выводимый из третьего нагревателя 115С' через выпускной трубопровод 145' третьего нагревателя вводят в четвертый теплообменник 125D, выполненный с возможностью нагрева продукта дегидрирования в выпускном трубопроводе 170В второго реактора перед его введением в третий реактор дегидрирования 165С через впускной трубопровод 180 третьего реактора. Как отмечено выше в настоящем документе, температура прошедшего теплообмен разбавляющего пара, выводимого из четвертого теплообменника 125D через выпускной паропровод 128 четвертого теплообменника, может быть повышена путем пропускания через пятый нагреватель 115Е перед теплообменом с продуктом дегидрирования первого реактора дегидрирования 165А в третьем теплообменнике 125С.

[0047] Как отмечено выше, раскрытая в настоящем документе система многоступенчатого дегидрирования с использованием первой ступени, содержащей два реактора дегидрирования, работающие параллельно, выше по потоку относительно второй ступени, содержащей третий реактор дегидрирования, может обеспечивать преимущества уменьшения полного давления в реакторе, среднего давления в блоке, увеличения селективности в отношении желательного продукта дегидрирования, желательной степени превращения и/или уменьшения потребляемой энергии в расчете на единицу массы продукта дегидрирования. Для способов дегидрирования, таких как эндотермическое дегидрирование этилбензола с получением стирола, улучшение условий давления (т.е. уменьшение давления) повышает селективность. Как видно в представленном ниже примере, применение первой ступени, содержащей два параллельных реактора дегидрирования, эксплуатируемых последовательно со второй ступенью, содержащей третий реактор дегидрирования, значительно уменьшает дифференциальное давление, что может повышать селективность в отношении продукта. Согласно вариантам осуществления полное дифференциальное давление описанного в настоящем документе способа многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полное дифференциальное давление традиционного аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора. Согласно вариантам осуществления полная селективность описанного в настоящем документе способа многоступенчатого дегидрирования больше, чем полная селективность традиционного аналогичного в других отношениях способа, в

котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно. Полную селективность определяют следующим образом: [число молей желательного продукта (например, продукта дегидрирования), полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе] / [полное число молей подлежащего дегидрированию исходного материала (например, углеводорода), превращенного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе]. Согласно вариантам осуществления полная подводимая энергия описанного в настоящем документе способа многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полная подводимая энергия традиционного аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно.

[0048] Как видно из сравнения описанной в настоящем документе системы многоступенчатого дегидрирования на Фиг. 1 с традиционной системой дегидрирования на Фиг. 3, пятый нагреватель 115E, шестой нагреватель 115F, третий теплообменник 125C и четвертый теплообменник 125D практически заменены межступенчатым нагревателем 15E, который может способствовать обеспечению описанных выше в настоящем документе энергетических преимуществ описанной в настоящем документе системы и способа многоступенчатого дегидрирования.

[0049] Описанные в настоящем документе система и способ многоступенчатого дегидрирования могут обеспечивать повышение степеней превращения в первых двух реакторах первой ступени (по сравнению с первыми двумя реакторами дегидрирования традиционной системы дегидрирования, в которой первый два реактора дегидрирования расположены последовательно), и может оказаться желательным дополнительное подогревание перед введением в третий реактор второй ступени. Кроме того, многоступенчатая система и способ могут быть особенно подходящими для усовершенствованных операций, где используют чрезвычайно низкое соотношение пара и углеводорода (STO), составляющее, например, приблизительно от 5,5 до 6, и низкое давление.

Примеры

Пример 1. Сравнение традиционной системы и описанной в настоящем документе системы параллельных реакторов

[0050] Моделирующее программное обеспечение Aspen Plus было использовано для построения описанной в настоящем документе системы параллельных реакторов, которая представлена на Фиг. 1, и ее и сравнения с традиционной системой

последовательных реакторов, которая представлена на Фиг. 3. Осуществляли сравнение с применением моделей реакторов для двух процессов при введении 0,37/ч этилбензола, $STO = 7$ (STO представляет собой молярное соотношение пара и углеводорода, например, этилбензола) и абсолютном давлении на выпуске 6,5 фунт/кв. дюйм. В указанных условиях перепад абсолютного давления для реакторов составлял 1,5 фунт/кв. дюйм. В Таблице 1 представлен обзор в качестве основы для сравнения.

[0051]

Таблица 1. Основа для сравнения способа примера 1

	Традиционный	Параллельный
Исходный этилбензол		
Скорость введения этилбензола в блок	292824 (36,9)	фунт/ч (кг/с)
Температура исходного этилбензола	107 (41,7)	°F (°C)
Абсолютное давление исходного этилбензола	39,7 (273,7)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Исходный пар		
STO	7	моль/моль
Скорость введения исходного пара	74197 (9,3)	фунт/ч (кг/с)
Температура исходного пара	270,2 (132,3)	°F (°C)
Абсолютное давление исходного пара	39,7 (273,7)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Разбавленный паром исходный материал	273623 (34,5)	фунт/ч (кг/с)
Температура разбавленного паром исходного материала	366,5 (185,8)	°F (°C)
Абсолютное давление	165 (1137,6)	фунт/кв. дюйм (кПа)

разбавленного паром исходного материала			
Условия реакторов			
Температура на впуске реактора 1	1130 (610)	1140 (615,6)	°F (°C)
Абсолютное давление на впуске реактора 1	11 (75,8)	9,5 (62,1)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Температура на выпуске реактора 1	1025,3 (551,8)	993,2 (534)	°F (°C)
Абсолютное давление на выпуске реактора 1	9,5 (62,1)	8 (55,2)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Температура на впуске реактора 2	1145 (618,3)	1140 (615,6)	°F (°C)
Абсолютное давление на впуске реактора 2	9,5 (62,1)	9,5 (62,1)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Температура на выпуске реактора 2	1065,9 (574,4)	993,2 (534)	°F (°C)
Абсолютное давление на выпуске реактора 2	8 (55,2)	8 (55,2)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Температура на впуске реактора 3	1160 (626,7)	1140 (615,6)	°F (°C)
Абсолютное давление на впуске реактора 3	8 (55,2)	8 (55,2)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Температура на выпуске реактора 3	1097,1 (591,7)	1043,7 (562,1)	°F (°C)
Абсолютное давление на выпуске реактора 3	6,5 (44,8)	6,5 (44,8)	фунт/кв. дюйм (кПа)
Технические условия гаража на три автомобиля ¹			

Температура на выпуске теплообменника исходного материала для реактора / выходящего потока исходного материала (в трубопроводе 35/135)	965 (518,3)	°F (°C)
Температура на выпуске выходящего потока испарителя исходного материала для реактора (в трубопроводе 96/196)	273 (133,9)	°F (°C)

¹Гараж на три автомобиля означает тесно установленные теплообменники 25A/125A, 15B/115B и 25B/125B на фигурах. Указанные теплообменники имеют различные функции, но расположены таким образом, что выглядят аналогично расположению трех автомобилей в блоках гаража, который выглядит снаружи как единое строение.

[0052] Несколько повышенная температура потока исходного этилбензола представляет собой результат объединения потока рециркуляции со свежим этилбензолом, причем исходный пар поступает из коллектора с низким манометрическим давлением (25 фунт/кв. дюйм), разбавляющий пар поступает из коллектора со средним манометрическим давлением (150 фунт/кв. дюйм), и трехреакторная система работает в заданных условиях начала цикла для традиционного способа.

[0053] Для обоих способов были рассмотрены следующие реакции:

Этилбензол → стирол + водород (1)

Этилбензол → бензол + этилен (2)

Этилбензол + водород → толуол + метан (3)

[0054] Были использованы значения степени превращения и селективности, указанные в Таблице 2.

[0055]

Таблица 2. Значения степени превращения и селективности реакторов

	Традиционный	Параллельный
Степень превращения реактора 1, %	27,1	38
Селективность реактора 1 по отношению к стиролу, мол. %	98,2	98
Степень превращения реактора 2, %	29	38
Селективность реактора 2 по отношению к стиролу, мол. %	96,1	98
Степень превращения реактора 3, %	34,4	43
Селективность реактора 3 по отношению к стиролу, мол. %	91,9	93
Полная степень превращения, %	66	64,7
Полная селективность, мол. %	95,83	95,94

[0056] Технологическая схема для исследований традиционного способа проиллюстрирована на Фиг. 3; технологическая схема для исследований параллельного способа проиллюстрирована на Фиг. 1. Значения тепловой нагрузки для традиционного способа представлены ниже в Таблице 3, и значения тепловой нагрузки для параллельного способа представлены ниже в Таблице 4.

[0057]

Таблица 3. Тепловые нагрузки технологических операций традиционного способа

Технологическая операция	Описание технологической операции	Тепловая нагрузка, млн. БТЕ/ч (МВт)
115A	Смешивание пара для испарителя	4,47921607 (1,313)
125A	Испаритель исходного материала для реактора, горячая сторона	-62,9435095 (-18,446)
	Испаритель исходного материала для реактора, холодная сторона	62,9435095 (18,446)
	Испаритель исходного материала для реактора, баланс	0 (0)
115B	Парогенератор ВД	-82,071856 (24,052)
125B	Теплообменник исходного материала для реактора/выходящего потока, горячая сторона	-129,5808 (-37,974)
	Теплообменник исходного материала	129,5808 (37,974)

	для реактора/выходящего потока, холодная сторона	
	Теплообменник исходного материала для реактора/выходящего потока, баланс	0 (0)
115D	Смешивание разбавляющего пара	0 (0)
165A	Первый реактор дегидрирования	0 (0)
125C	Подогреватель реактор 1/реактор 2, горячая сторона	-44,8874153 (-3,142)
	Подогреватель реактор 1/реактор 2, холодная сторона	44,8874153 (3,142)
	Подогреватель реактор 1/реактор 2, баланс	0 (0)
165B	Второй реактор дегидрирования	0 (0)
125D	Подогреватель реактор 2/реактор 3, горячая сторона	-35,557896 (-10,420)
	Подогреватель реактор 2/реактор 3, холодная сторона	35,557896 (10,420)
	Подогреватель реактор 2/реактор 3, баланс	0 (0)
165C	Третий реактор дегидрирования	0 (0)
115C'	Первый пароперегреватель	151,484011 (44,393)
115E	Второй пароперегреватель	34,6394569 (10,151)
115F	Третий пароперегреватель	39,3110092 (11,520)
Полная энергия		
Баланс полной энергии		147,8418372 (43,326)
Полная подводимая энергия		229,9136932 (67,377)
Полная выводимая энергия		-82,071856 (-24,052)
Полная энергия, нормированная на производство полистирола		
Скорость производства полистирола, фунт/ч		181813,893 (22,908)
Баланс полной энергии, БТЕ/фунт стирола (МДж/кг стирола)		813,1492854 (1,891)
Полная подводимая энергия, БТЕ/фунт стирола (МДж/кг стирола)		1264,555141 (2,941)

Полная выводимая энергия, БТЕ/фунт стирола (МДж/кг стирола)	-451,405856 (-1,050)
---	----------------------

[0058]

Таблица 4: Тепловые нагрузки технологических операций параллельного способа

Технологическая операция	Описание технологической операции	Тепловая нагрузка, млн. БТЕ/ч (MBT)
15A	Смешивание пара для испарителя	4,47921607 (1,313)
25A	Испаритель исходного материала для реактора, горячая сторона	-62,9435095 (-18,446)
	Испаритель исходного материала для реактора, холодная сторона	62,9435095 (18,446)
	Испаритель исходного материала для реактора, баланс	0 (0)
15B	Парогенератор ВД	-62,028827 (18,178)
25B	Теплообменник исходного материала для реактора/выходящего потока, горячая сторона	-129,5808 (-37,974)
	Теплообменник исходного материала для реактора/выходящего потока, холодная сторона	129,5808 (37,974)
	Теплообменник исходного материала для реактора/выходящего потока, баланс	0 (0)
15C	Первый пароперегреватель	148,802469 (43,607)
15D	Смешивание разбавляющего пара	0 (0)
55A	Разделение потока исходного материала на реакторы 1 и 2	0 (0)
65A	Первый реактор дегидрирования	0 (0)
65B	Второй реактор дегидрирования	0 (0)
55B	Воссоединение выходящих потоков реакторов 1 и 2	0 (0)
15E	Подогреватель третьего реактора/межступенчатый нагреватель	54,8201305 (16,065)

65C	Третий реактор дегидрирования	0 (0)
Полная энергия		
Баланс полной энергии		146,0729886 (42,808)
Полная подводимая энергия		208,1018156 (60,985)
Полная выводимая энергия		-62,028827 (18,178)
Полная энергия, нормированная на производство полистирола		
Скорость производства полистирола, фунт/ч (кг/с)		178200,733 (22,453)
Баланс полной энергии, БТЕ/фунт стирола (МДж/кг стирола)		819,7103688 (1,906)
Полная подводимая энергия, БТЕ/фунт стирола (МДж/кг стирола)		1167,794386 (2,716)
Полная выводимая энергия, БТЕ/фунт стирола (МДж/кг стирола)		-348,0840171 (-0,810)

[0059] В Таблице 5 приведены характерные лабораторные данные для стандартной последовательной конфигурации и оценки для параллельной конфигурации. Процентное содержание стирольного мономера в выходящем потоке из реактора, давление на впуске, давление на выпуске, процентная степень превращения и процентная селективность представлены для трех реакторов дегидрирования стандартной последовательной конфигурации и параллельной конфигурации.

[0060]

Таблица 5. Краткие данные для систем последовательных и параллельных реакторов

	Последовательная конфигурация			Параллельная конфигурация для реакторов 65A/65B		
	165A	165B	165C	65A	65B	65C
Стирольный мономер, %	27,1	47,1	63,5	37	37	64
Абсолютное давление на впуске, фунт/кв. дюйм (кПа)	11 (75,8)	9,5 (62,1)	8 (55,2)	9,5 (62,1)	9,5 (62,1)	8 (55,2)
Абсолютное давление на	9,5 (62,1)	8 (55,2)	6,5 (44,8)	8 (55,2)	8 (55,2)	6,5 (44,8)

выпуске, фунт/кв. дюйм (кПа)						
Степень превращения, %	27,1	29	34,4	38	38	43
Селективность, %	98,2	96,1	91,9	98	98	93

[0061] Как показано в Таблицах 3 и 4, чистая энергия для традиционного способа оказывается несколько меньше, чем для параллельного способа. Однако это может быть обусловлено созданием высокого давления пара. На самом деле для параллельного способа требуется меньше подводимой энергии в расчете на единицу массы стирола. Кроме того, этот способ можно осуществлять при меньшем полном давлении и более высокой селективности, как указано в таблицах. Таким образом, способ с параллельными реакторами демонстрирует преимущества в отношении подводимой энергии, среднего давления в блоке, полного дифференциального давления и полной селективности для моделируемых условий.

Дополнительное описание

[0062] Конкретные варианты осуществления, которые раскрыты выше, являются лишь иллюстративными, поскольку настоящее изобретение может быть модифицировано и практически реализовано иными, но эквивалентными путями, очевидными для специалистов в данной области техники, использующих описание, приведенное в настоящем документе. Кроме того, не предусмотрены никакие ограничения в отношении деталей конструкции или схемы, представленной в настоящем документе, помимо того, что описано ниже в формуле изобретения. Таким образом, является очевидным, что конкретные иллюстративные варианты осуществления, описанные выше, могут быть изменены или модифицированы, причем все такие изменения рассматриваются в пределах объема и идеи настоящего изобретения. Альтернативные варианты осуществления, которые возникают в результате объединения, интеграции и/или исключения признаков одного или нескольких вариантов осуществления, также находятся в пределах объема настоящего изобретения. Кроме того, технологии, системы, подсистемы и способы, описанные и проиллюстрированные в разнообразных вариантах осуществления как дискретные или отдельные, могут быть объединены или интегрированы с другими

системами, модулями, технологиями или способами без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Другие предметы, представленные или обсуждаемые как находящиеся в непосредственном соединении или сообщении друг с другом, могут находиться в косвенном соединении или сообщении некоторую границу, устройство или промежуточный компонент, включая электрическое, механическое или иное соединение. Другие примеры изменений, замещений и замен являются понятными для специалиста в данной области техники и могут быть осуществлены без отклонения от идеи и выхода за пределы объема, описанного в настоящем документе. Хотя композиции и способы описаны в общих терминах как «имеющие», «включающие», «содержащие» или «охватывающие» разнообразные компоненты или стадии, композиции и способы, они могут также «состоять в основном» или «состоять» из разнообразных компонентов и стадий. Применение термина «необязательно» в отношении любого элемента пункта формулы изобретения означает, что элемент требуется или, в качестве альтернативы, элемент не требуется, причем обе альтернативы находятся в пределах объема данного пункта формулы изобретения.

[0063] Представленные выше числа и диапазоны могут изменяться в некоторой степени. Когда описан численный диапазон, имеющий нижний предел и верхний предел, считаются описанными, в частности, любые числа и любые включенные диапазоны, находящиеся в пределах данного диапазона. В частности, каждый описанный в настоящем документе диапазон значений (представленный в форме «от приблизительно а до приблизительно b» или в эквивалентной форме «приблизительно от а до b» или в эквивалентной форме «приблизительно a-b») следует понимать как представляющий все числа и диапазоны, охватываемые в пределах более широкого диапазона значений. Кроме того, термины в формуле изобретения имеют свои простые обычные значения, если иные условия не заданы определенно и четко патентообладателем. Кроме того, формы единственного числа при использовании в формуле изобретения определены в настоящем документе как означающие один или более чем один из элементов, которые они представляют. Если существует какое-либо противоречие в применении слова или термина в настоящем описании и одном или нескольких патентных или других документах, следует принимать определения, которые согласуются с настоящим описанием.

[0064] Раскрытые в настоящем документе варианты осуществления включают:

[0065] А: способ многоступенчатого дегидрирования, включающий контактирование, на первой ступени, потока исходного материала, содержащего углеводород и пар, с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования для

получения выходящего потока первой ступени; нагревание выходящего потока первой ступени; и контактирование, на второй ступени, нагретого выходящего потока первой ступени с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования для получения выходящего потока второй ступени, содержащего продукт дегидрирования, причем первая ступень содержит первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, и при этом вторая ступень содержит третий реактор, соединенный последовательно с первым реактором и вторым реактором.

[0066] В: систему многоступенчатого дегидрирования, содержащую поток исходного материала, содержащий углеводород и пар; первую ступень, содержащую первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, причем первый реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск первого реактора, который принимает часть потока исходного материала, и при этом второй реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск второго реактора, который принимает оставшуюся часть потока исходного материала, и при этом первая ступень своим действием превращает по меньшей мере часть углеводорода в продукт дегидрирования путем введения в контакт углеводорода с катализатором дегидрирования в первом и втором реакторах в условиях дегидрирования; межступенчатый нагреватель, соединенный по текучей среде с выпуском первого реактора первого реактора и принимающий выходящий поток первого реактора и соединенный по текучей среде с выпуском второго реактора и принимающий выходящий поток второго реактора; вторую ступень, содержащую третий реактор, причем третий реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск третьего реактора в соединении по текучей среде с межступенчатым нагревателем, и при этом вторая ступень своим действием превращает непрореагировавший углеводород, принятый из межступенчатого нагревателя, в продукт дегидрирования путем введения в контакт непрореагировавшего углеводорода с катализатором дегидрирования в третьем реакторе в условиях дегидрирования для получения выходящего потока второй ступени, содержащего выходящий поток третьего реактора.

[0067] С: способ многоступенчатого дегидрирования, включающий объединение пара и этилбензола с образованием потока исходного материала; нагревание потока исходного материала с получением нагретого потока исходного материала; разделение нагретого потока исходного материала на первую часть и вторую часть; введение первой части потока исходного материала в первый реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором этилбензол превращают в стирол; введение второй части потока исходного материала во второй реактор, содержащий катализатор дегидрирования,

в котором этилбензол превращают в стирол; выпуск из первого реактора первого выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол; выпуск из второго реактора второго выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол; объединение первого выходящего потока и второго выходящего потока в объединенный выходящий поток; нагревание объединенного выходящего потока с получением нагретого объединенного выходящего потока; введение нагретого объединенного выходящего потока в третий реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором по меньшей мере часть непрореагировавшего этилбензола, присутствующего в нагретом объединенном выходящем потоке, превращают в стирол; и выпуск из третьего реактора третьего выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол.

[0068] Каждый из вариантов осуществления А, В и С может иметь один или несколько из следующих дополнительных элементов. Элемент 1, в котором контактирование поток исходного материала на первой ступени включает контактирование первой части потока исходного материала с катализатором дегидрирования в первом реакторе для получения выходящего потока первого реактора; и контактирование второй части потока исходного материала с катализатором дегидрирования во втором реакторе для получения выходящего потока второго реактора. Элемент 2, дополнительно включающий объединение выходящего потока первого реактора и выходящего потока второго реактора для получения выходящего потока первой ступени перед стадией нагревания. Элемент 3, дополнительно включающий теплообмен потока исходного материала с выходящим потоком второй ступени, в результате чего конденсируется часть выходящего потока второй ступени; сжатие выходящего потока второй ступени после стадии теплообмена; и отделение продукта дегидрирования от выходящего потока второй ступени. Элемент 4, в котором полное дифференциальное давление способа многоступенчатого дегидрирования меньше чем полное дифференциальное давление аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, и при этом полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора. Элемент 5, в котором полная селективность способа многоступенчатого дегидрирования больше чем полная селективность аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, и при этом полную селективность определяют следующим образом: [число молей продукта дегидрирования, полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе] / [полное число молей углеводорода, превращенного в

первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе]. Элемент 6, в котором полная подводимая энергия способа многоступенчатого дегидрирования меньше чем полная подводимая энергия аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно. Элемент 7, в котором углеводород представляет собой этилбензол, и при этом продукт дегидрирования содержит стирол. Элемент 8, в котором каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора представляет собой адиабатический реактор. Элемент 9, в котором для нагревания выходящего потока первой ступени используют теплообменник. Элемент 10, в котором выходящий поток первого реактора и выходящий поток второго реактора объединяют для получения выходящего потока первой ступени, который поступает в межступенчатый нагреватель. Элемент 11, в котором межступенчатый нагреватель представляет собой теплообменник, который использует пар в качестве нагревающей текучей среды. Элемент 12, дополнительно включающий первый теплообменник, который обменивает первое тепло между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала; и второй теплообменник, который обменивает второе тепло между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала. Элемент 13, дополнительно включающий компрессор, расположенный ниже по потоку относительно первого теплообменника и второго теплообменника и выполненный с возможностью сжатия выходящего потока второй ступени; и разделительную систему, расположенную ниже по потоку относительно компрессора и выполненную с возможностью отделения продукта дегидрирования от выходящего потока второй ступени. Элемент 14, в котором полное дифференциальное давление системы многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полное дифференциальное давление аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора. Элемент 15, в котором полная селективность системы многоступенчатого дегидрирования больше, чем полная селективность аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полную селективность определяют следующим образом:
$$\left[\text{число молей продукта дегидрирования, полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе} \right] / \left[\text{полное число молей углеводорода, превращенного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе} \right]$$
. Элемент 16, в котором полная подводимая энергия системы многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полная подводимая энергия аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно. Элемент 17, в

котором углеводород представляет собой этилбензол, и при этом продукт дегидрирования содержит стирол. Элемент 18, в котором каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора представляет собой адиабатический реактор.

[0069] Хотя были представлены и описаны предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения, их модификации могут быть произведены специалистом в данной области техники без отклонения от описания в настоящем документе. Варианты осуществления, описанные в настоящем документе, представляют собой исключительно примеры, которые не предназначены в качестве ограничительных. Многочисленные вариации и модификации настоящего изобретения, описанные в настоящем документе, являются возможными и находятся в пределах объема настоящего изобретения.

[0070] Другие многочисленные модификации, эквиваленты и альтернативы становятся очевидными для специалистов в данной области техники после ознакомления с приведенным выше описанием. Предусмотрено, что приведенную ниже формулу изобретения следует истолковывать как охватывающую все такие модификации, эквиваленты и альтернативы, насколько это применимо. Соответственно, объем патентной защиты не ограничен приведенным выше описанием, но ограничен исключительно приведенной ниже формулой изобретения, причем этот объем включает все эквиваленты предмета формулы изобретения. Каждый и любой пункт формулы изобретения включен в описание в качестве варианта осуществления настоящего изобретения. Таким образом, формула изобретения представляет собой продолжение описания и дополнение подробного описания настоящего изобретения. Описания всех патентов, патентных заявок и публикаций, цитированных в настоящем документе, включены в него путем ссылки.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ многоступенчатого дегидрирования, включающий:

контактирование на первой ступени потока исходного материала, содержащего углеводород и пар, с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования с получением выходящего потока первой ступени;

нагревание выходящего потока первой ступени; и

контактирование на второй ступени нагретого выходящего потока первой ступени с катализатором дегидрирования в условиях дегидрирования с получением выходящего потока второй ступени, содержащего продукт дегидрирования,

причем первая ступень содержит первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, и

при этом вторая ступень содержит третий реактор, соединенный последовательно с первым реактором и вторым реактором.

2. Способ по п. 1, в котором контактирование потока исходного материала на первой ступени включает:

контактирование первой части потока исходного материала с катализатором дегидрирования в первом реакторе с получением выходящего потока первого реактора; и

контактирование второй части потока исходного материала с катализатором дегидрирования во втором реакторе с получением выходящего потока второго реактора.

3. Способ по п. 2, дополнительно включающий:

объединение выходящего потока первого реактора и выходящего потока второго реактора с образованием выходящего потока первой ступени перед стадией нагревания.

4. Способ по п. 1, дополнительно включающий:

теплообмен потока исходного материала с выходящим потоком второй ступени, в результате чего конденсируется часть выходящего потока второй ступени;

сжатие выходящего потока второй ступени после стадии теплообмена; и

отделение продукта дегидрирования от выходящего потока второй ступени.

5. Способ по п. 1, в котором полное дифференциальное давление способа многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полное дифференциальное давление аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, при этом полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора.

6. Способ по п. 1, в котором полная селективность способа многоступенчатого дегидрирования больше, чем полная селективность аналогичного в других отношениях

способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, и при этом полную селективность определяют следующим образом:

[число молей продукта дегидрирования, полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе] / [полное число молей углеводорода, превращенного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе].

7. Способ по п. 1, в котором полная потребляемая энергия способа многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полная потребляемая энергия аналогичного в других отношениях способа, в котором первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно.

8. Способ по п. 1, в котором углеводород представляет собой этилбензол, а продукт дегидрирования содержит стирол.

9. Способ по п. 1, в котором каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора является адиабатическим реактором.

10. Способ по п. 3, в котором для нагревания выходящего потока первой ступени используют теплообменник.

11. Система многоступенчатого дегидрирования, содержащая:

поток исходного материала, содержащий углеводород и пар;

первую ступень, содержащую первый реактор и второй реактор, расположенные параллельно, причем первый реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск первого реактора, который принимает часть потока исходного материала, причем второй реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск второго реактора, который принимает оставшуюся часть потока исходного материала, и причем первая ступень осуществляет превращение по меньшей мере части углеводорода в продукт дегидрирования путем контактирования углеводорода с катализатором дегидрирования в первом и втором реакторах в условиях дегидрирования;

межступенчатый нагреватель, соединенный по текучей среде с выпуском первого реактора первого реактора и принимающий выходящий поток первого реактора и соединенный по текучей среде с выпуском второго реактора и принимающий выходящий поток второго реактора;

вторую ступень, содержащую третий реактор, причем третий реактор содержит катализатор дегидрирования и имеет впуск третьего реактора, соединенный по текучей среде с межступенчатым нагревателем, и причем вторая ступень осуществляет превращение непрореагировавшего углеводорода, поступающего из межступенчатого нагревателя, в продукт дегидрирования путем контактирования непрореагировавшего

углеводорода с катализатором дегидрирования в третьем реакторе в условиях дегидрирования для получения выходящего потока второй ступени.

12. Система по п. 11, дополнительно содержащая смеситель, выполненный с возможностью объединения выходящего потока первого реактора и выходящего потока второго реактора с образованием выходящего потока первой ступени, который поступает в межступенчатый нагреватель.

13. Система по п. 11, в которой межступенчатый нагреватель представляет собой теплообменник, который использует пар в качестве нагревающей текучей среды.

14. Система по п. 11, дополнительно содержащая:

первый теплообменник, который обменивает первое тепло между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала; и

второй теплообменник, который обменивает второе тепло между выходящим потоком второй ступени и потоком исходного материала.

15. Система по п. 14, дополнительно содержащая:

компрессор, расположенный ниже по потоку относительно первого теплообменника и второго теплообменника и выполненный с возможностью сжатия выходящего потока второй ступени; и

разделительную систему, расположенную ниже по потоку относительно компрессора и выполненную с возможностью отделения продукта дегидрирования от выходящего потока второй ступени.

16. Система по п. 11, в которой полное дифференциальное давление системы многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полное дифференциальное давление аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полное дифференциальное давление измеряют между впуском первого реактора и выпуском третьего реактора.

17. Система по п. 11, в которой полная селективность системы многоступенчатого дегидрирования больше, чем полная селективность аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно, причем полную селективность определяют следующим образом:

$$\left[\text{число молей продукта дегидрирования, полученного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе} \right] / \left[\text{полное число молей углеводорода, превращенного в первом реакторе, втором реакторе и третьем реакторе} \right].$$

18. Система по п. 11, в которой полная потребляемая энергия системы многоступенчатого дегидрирования меньше, чем полная потребляемая энергия

аналогичной в других отношениях системы, в которой первый реактор, второй реактор и третий реактор соединены последовательно.

19. Система по п. 11, в которой углеводород представляет собой этилбензол, а продукт дегидрирования содержит стирол.

20. Система по п. 11, в которой каждый из первого реактора, второго реактора и третьего реактора является адиабатическим реактором.

21. Способ многоступенчатого дегидрирования, включающий:

объединение пара и этилбензола с образованием потока исходного материала;

нагревание потока исходного материала с получением нагретого потока исходного материала;

разделение нагретого потока исходного материала на первую часть и вторую часть;

введение первой части потока исходного материала в первый реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором этилбензол превращают в стирол;

введение второй части потока исходного материала во второй реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором этилбензол превращают в стирол;

выпуск из первого реактора первого выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол;

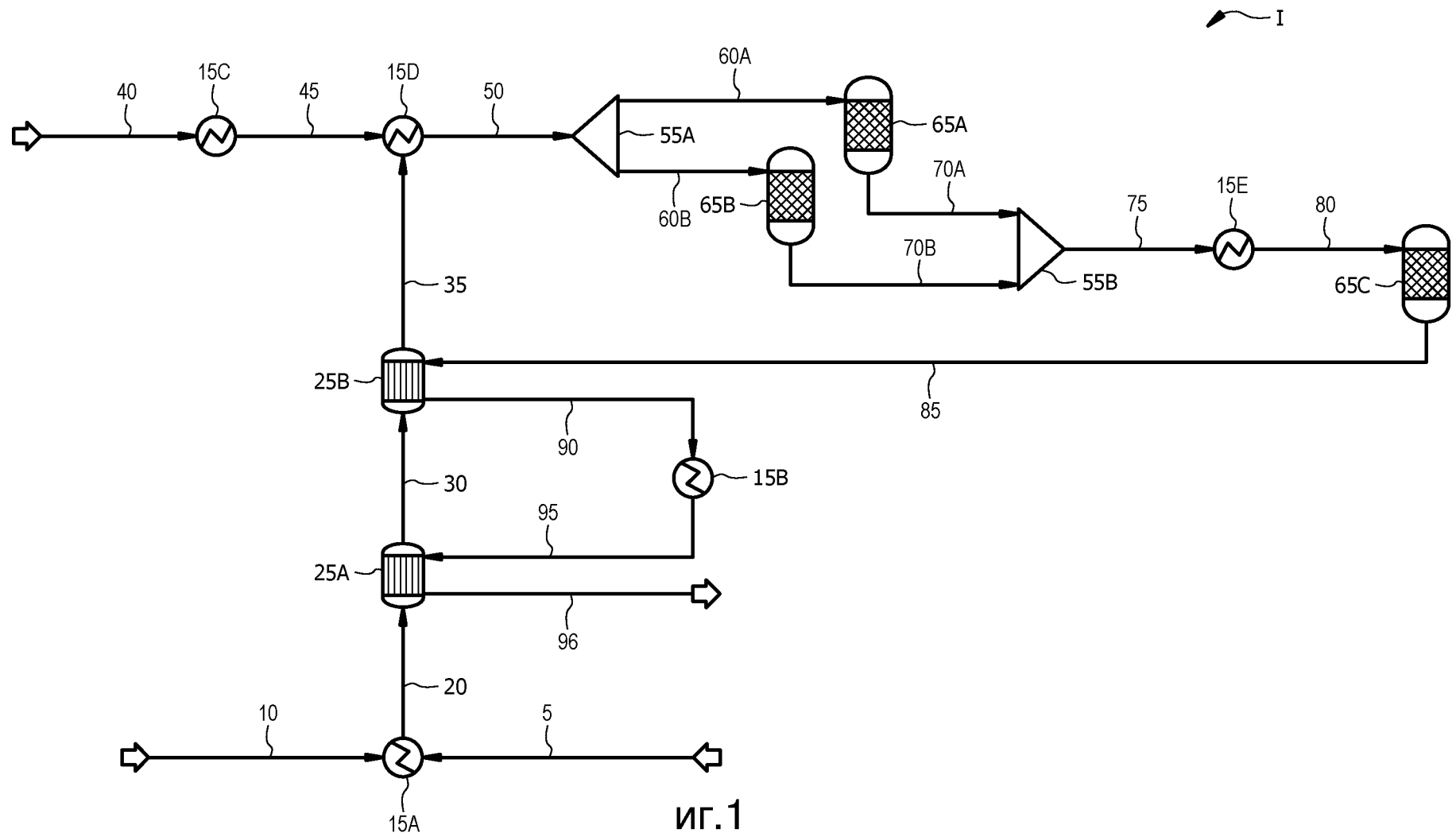
выпуск из второго реактора второго выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол;

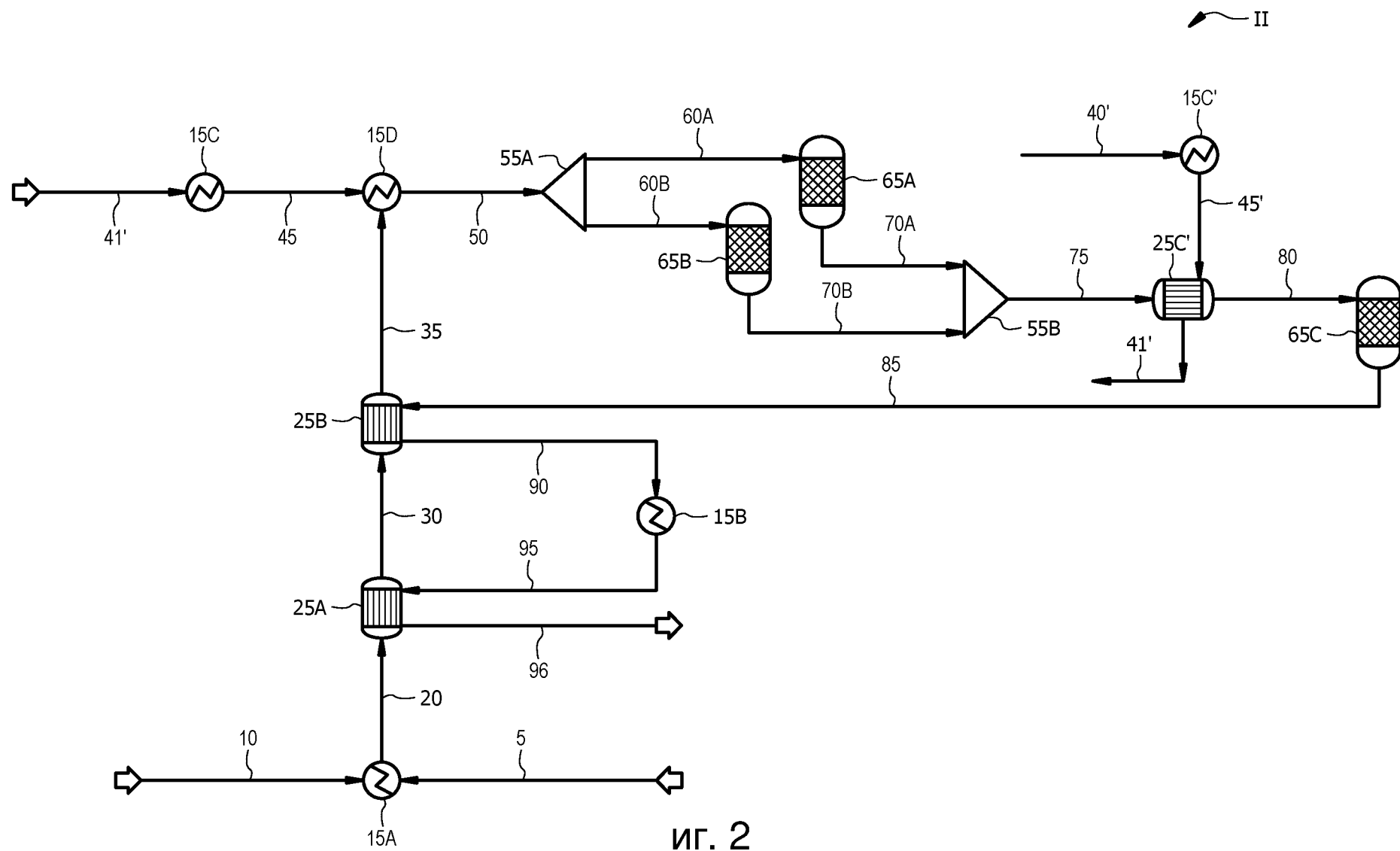
объединение первого выходящего потока и второго выходящего потока в объединенный выходящий поток;

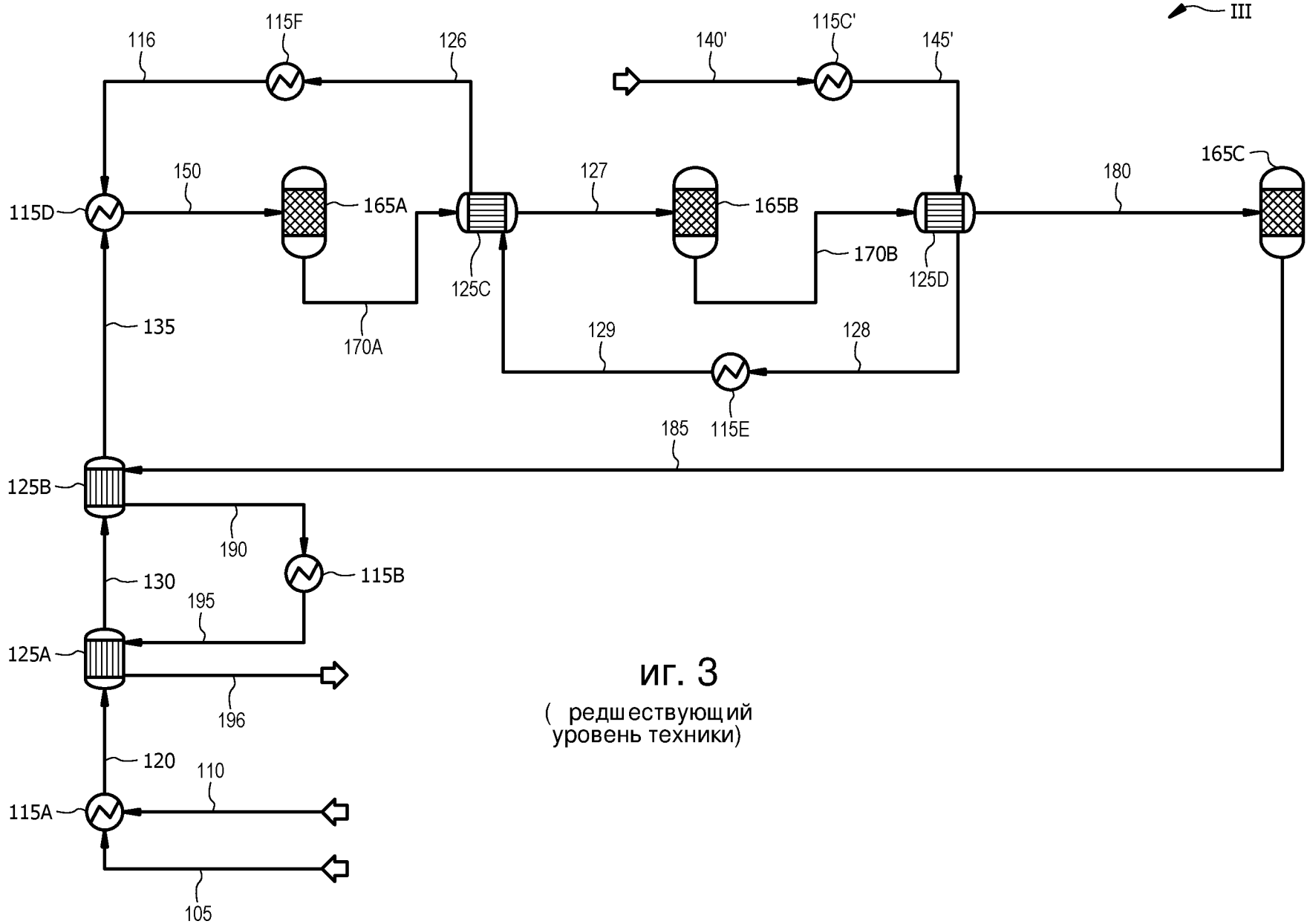
нагревание объединенного выходящего потока с получением нагретого объединенного выходящего потока;

введение нагретого объединенного выходящего потока в третий реактор, содержащий катализатор дегидрирования, в котором по меньшей мере часть непрореагировавшего этилбензола, присутствующего в нагретом объединенном выходящем потоке, превращают в стирол; и

выпуск из третьего реактора третьего выходящего потока, содержащего непрореагировавший этилбензол и стирол.







ИГ. 3
(предшествующий
уровень техники)