

УДК 62.776; 344.1

Черепанов Анатолий Петрович,

д.т.н., профессор кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: boning89@mail.ru

КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ

Cherepanov A.P.

HEAT AND MASS TRANSFER STRUCTURES ELEMENTS IN THE PROCESSES OF OBTAINING GAS-LIQUID MIXTURES

Аннотация. В статье рассмотрены теплообменные элементы для получения газожидкостных смесей в процессах переработки различных веществ испарением или конденсацией, например, путем смешивания контактирующих фаз. Приведены примеры ряда устройств для осуществления тепло и массообмена, многокомпонентного смешивания газовых, паровых и других текучих сред в теплообменных процессах при абсорбции, ректификации, диспергировании, эмульгировании, а также в других технологических процессах.

Ключевые слова: давление, зазор, клапан, многокомпонентное смешивание, пластина, поток, разрежение, тарелка, эжектирование.

Abstract. The article discusses heat and mass transfer elements for producing gas-liquid mixtures in the processes of processing various substances by evaporation or condensation, for example, by mixing contacting phases. Examples of a number of devices for carrying out heat and mass transfer, multicomponent mixing of gas, steam and other fluids in heat and mass transfer processes during absorption, rectification, dispersion, emulsification, as well as in other technological processes are given.

Keywords: ejection, gap, flow, multicomponent mixing, plate, pressure, vacuum, valve.

Основные принципы теплообмена в газожидкостных смесях играют ключевую роль в процессах переработки различных веществ, которые осуществляют испарением или конденсацией, путем смешивания двух фаз или через твердую границу между фазами. Исследованиями течения потока в зазоре между стенками [1, 2, 3] установлено, что согласно закону Бернулли, подача потока в радиально-щелевой зазор между тарелкой и клапаном [4] вызывает сужение потока и увеличение его скорости с образованием нескольких кольцевых зон разрежения.

Рассмотрим функционирование устройств для осуществления теплообмена парогазовых или газожидкостных смесей, основанных на течении потока в зазоре между стенками.

Устройство для осуществления теплообмена с жестким, упругим или эластичным клапаном [5] показано на рис. 1. Клапан 1 установлен на тарелке 2 с отверстием 3, имеющим кромку 4, закреплен с зазором 5 ограничителями 6 в нескольких точках, удаленных от отверстия 3.

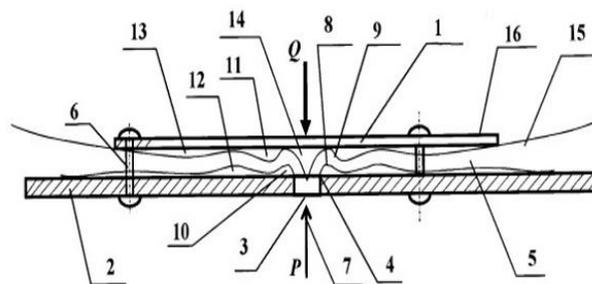


Рисунок 1- Закрепленный жесткий, упругий или эластичный клапан

При подаче смеси 7 под давлением P поток, проходя через отверстие 3, срывается с его кромки 4, проходя в зазор 5 с высокой скоростью некоторый путь, образуя зоны 8 и 9 расходящегося в зазоре 5 потока. За счет увеличения скорости потока при выходе в зону меньшего давления 15 за пределами клапана 1, давление P в зазоре 5 снижается. Согласно закону Бернулли увеличение скорости и снижение давления потока в зазоре создает кольцевые зоны разрежения 11, 13 и центральную зону 14 со стороны клапана 1, а со стороны тарелки 1 - кольцевые зоны разрежения 12, 13.

режения 10, 12. Таким образом, кольцевыми зонами разрежения $10 \div 13$ и центральной зоной разрежения 14 образуется присасывающая сила Q , которая преодолевает силу давления P смеси 7 и прижимает клапан 1 к тарелке 2, при этом происходит уменьшение зазора 5, снижение расхода смеси 7, снижение в кольцевых зонах $8 \div 13$ и в центральной зоне 14 разрежения, уменьшая присасывающую силу Q . Сила давления P смеси 7, преодолевая присасывающую силу Q , вновь увеличивает зазор 5, отталкивая клапан 1 от тарелки 2 и повышая расход смеси 7 в зонах 8 и 9. Присасывающая сила Q вновь возрастает и создает разрежение в кольцевых зонах $10 \div 13$ и в центральной зоне 14, уменьшая зазор 5. Таким образом, поочередное увеличение и снижение присасывающей силы Q создает автоколебания клапана 1 относительно тарелки 2, пульсацию потока смеси 7 в зазоре 5 и в пространстве 15 за клапаном 1. Одновременно с автоколебаниями клапана 1 создается эжектирование смеси на поверхности 16 клапана 1, смешиваясь со смесью, выходящей из зазора 5 в пространство 15 за клапаном 1.

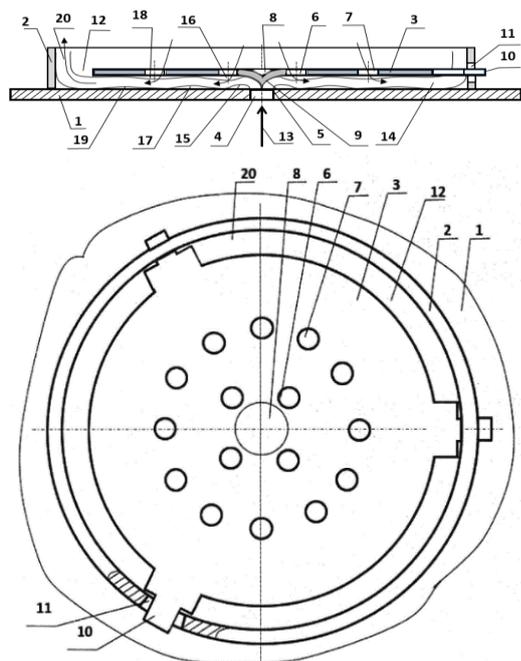


Рисунок 2 - Колеблющийся жесткий или упругий клапан

Рассмотрим колеблющийся жесткий или упругий клапан [6], показанный на рис. 2.

Лепестки 10 клапана 3 входят в пазы 11 переливного кольца 2. Пазы 11 обеспечи-

вает свободный ход лепестков 10 и клапана 3 при перетекании смеси 13 из зазора 14 в зазор 12 и в пространство 20. При подаче потока 13 под давлением через центральное отверстие 4 в зазор 14 клапана 3 приподнимается над тарелкой 1 на величину паза 11. Пройдя через отверстие 4, поток 13, направляющим аппаратом 9 с центральной воронкой 8 разворачивается в зазор 14, срывается с кромки 5 и сужается, образуя кольцевые зоны разрежения 15, 17, 19 со стороны тарелки 1 и кольцевые зоны разрежения 17, 18 со стороны клапана 3. Как и в первом примере (рис. 1), кольцевыми зонами разрежения $15 \div 19$ образуется присасывающая сила, которая преодолевает силу упругости материала клапана 3, силу давления потока 13, прижимает клапан 3 к тарелке 1, уменьшает зазор 14. Дальнейшее снижение расхода смеси 13 снижает в кольцевых зонах $15 \div 19$ разрежение и уменьшает присасывающую силу. При этом сила упругости материала клапана 3 и давление потока 13 вновь увеличивают зазор 14 и отталкивают клапан 3 от тарелки 1 на величину хода лепестков 10 в пределах пазов 11, вызывая увеличение присасывающей силы в кольцевых зонах $15 \div 19$. За счет поочередного увеличения и снижения разрежения в кольцевых зонах $15 \div 19$, создаются автоколебания клапана 3 и пульсация расходящегося потока 13 в зазорах 14, 12 и в пространстве 20 за клапаном 3. Одновременно с автоколебаниями клапана 3 создается эжектирование смеси на свободной поверхности клапана 3, смешиваясь со смесью, выходящей из зазора 12 в свободное пространство над клапаном 3. Выходя из зазора 14, поток через кольцевой зазор 12 разворачивается переливным кольцом 2 в свободное пространство 20 над клапаном 3. Более легкие фракции поднимаются вверх, а более тяжелые опускаются на поверхность тарелки 1 за пределами переливного кольца 2. Переливное кольцо 2 предотвращает попадание жидкой фазы, образующейся за его пределами, в зазор 14 между клапаном 3 и тарелкой 1, обеспечивает уровень жидкой фазы на тарелке 1, превышающий величину зазора 14 между клапаном 3 и тарелкой 1, а также препятствует снижению скорости расходящегося потока в зазоре между тарелкой и «захлебыванию» клапана 3. Разрежение в кольцевых зонах 16, 18 под клапаном 3 вызывает подсос смеси, находящейся над клапаном 3 через концен-

тричные отверстия 6, 7 в зазор 14, где происходит увеличение объема барботируемой смеси в результате которого увеличивается тепломассообмен и интенсификации барботажа смеси. Таким образом, жесткий или упругий клапан 3, перемещаясь в пределах зазора 14 и в пределах хода лепестков 10 в пазах 11, совершает автоколебания и создает пульсацию смеси 13. При этом расходящимся равномерно в зазоре 14 потоком создается подушка, которая препятствует наклону клапана 3 относительно тарелки 1.

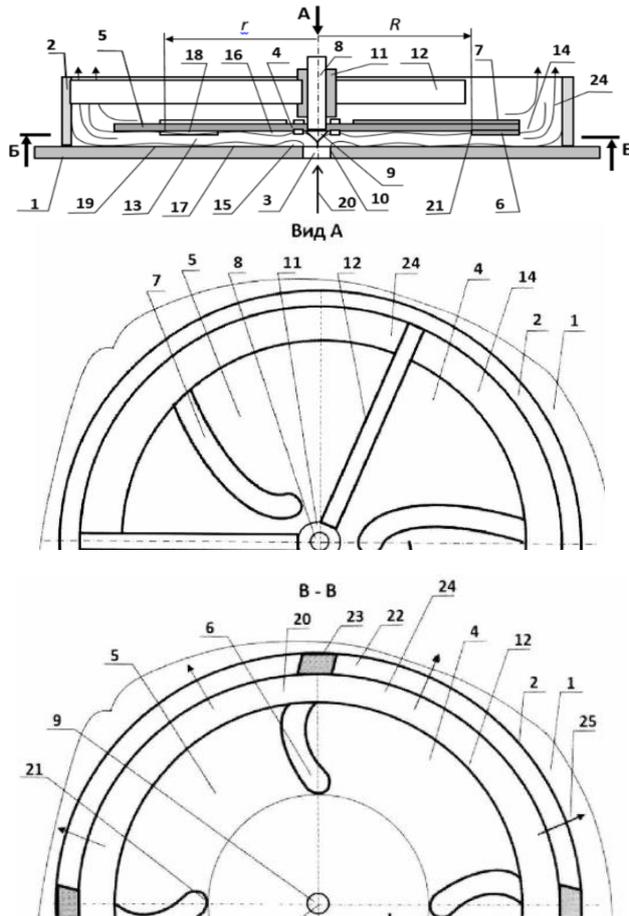


Рисунок 3 - Вращающийся клапан

Вращающийся клапан [7] показан на рис. 3. Смесь 20 под давлением проходя через сопло 3, приподнимает клапан 4 над тарелкой 1 на величину зазора 13, при этом смесь 20 срывается с кромки 10 сопла 3 и направляющим аппаратом 9 разворачивается в зазор 13, проходит между ведущими лопастями 6 и приводит во вращение клапан 4, а ведомые лопасти 7 закручивают поток газожидкостной смеси над клапаном 4. Как и у предыдущих клапанов (рис. 1 и 2) согласно закону Бернулли, увеличение скорости рас-

ходящегося потока газожидкостной смеси 20 в зазоре 13 образует кольцевые зоны разрежения 16 и 18 со стороны клапана 4, и зоны разрежения 15, 17 и 19 со стороны тарелки 1. Таким образом, в кольцевых зонах 15÷19 создается присасывающая сила, которая преодолевает силу давления потока смеси 20, выходящего из сопла 3, уменьшает зазор 13 между клапаном 4 и тарелкой 1 и снижает расход смеси в кольцевых зонах 15÷19 за счет уменьшения площади проходного сечения между клапаном 4 и кромкой 10 сопла 3. При снижении расхода потока в зазоре 13, давление в кольцевых зонах 15÷19 и далее повышается, снижая присасывающую силу клапана 4 к тарелке 1, за счет чего зазор 13 вновь увеличивается, отталкивая клапан 4 от тарелки 1. Поскольку ход клапана 3 ограничен подшипником 11, расход потока смеси в зазоре 13 вновь повышается, вызывая увеличение скорости потока в зазоре 13 и увеличение присасывающей силы в кольцевых зонах 15÷19, которая вновь уменьшает зазор 13. Периодическое увеличение и снижение присасывающей силы при вращении клапана 4 создает его автоколебания относительно тарелки 1 в пределах зазора 13 и пульсацию расходящегося потока смеси 21 в зазоре 13, 14, 24 и в пространстве над клапаном 4. Присасывающая сила в кольцевых зонах 15÷19 удерживает вращающийся клапан 4 во взвешенном состоянии и препятствует трению клапана 4 о тарелку 1 и о подшипник 11. Расходящийся в зазоре 13 поток с помощью лопастей 6, закрепленных на клапане 4 со стороны тарелки 1, вращает клапан 4 на оси 8. Переливное кольцо 2 позволяет более легким фракциям подниматься вверх, а более тяжелым - опускаться на свободную поверхность клапана 4 и отбрасывается в сторону переливного кольца 2 лопастями 7, закрепленными на поверхности 5 клапана 4. Переливное кольцо 2 препятствует обратному попаданию смеси со свободной поверхности тарелки в зазоры 13 и 14, и «захлебыванию» клапана. Поток 21, выходя из зазора 14 между переливным кольцом 2 и клапаном 4, разворачивается в пространство над клапаном и разбрызгивается лопастями 7. Таким образом, одно-временные колебания, вращение клапана 4 и пульсация в зазорах 13, 14 и 24 вызывают интенсификацию смешивания и увеличение тепломассообмена смеси 20.

Рассмотрим функционирование

устройства [8] для получения многокомпонентной смеси при тепломассообмене, показанного на рис. 4.

Поток первого компонента 20 под давлением проходя через сопло 3, приподнимает диск 4 над тарелкой 1 до упора в подшипник 11, срывается с кромки 10 и направляющим аппаратом 9 разворачивается в зазор 13. Как и в предыдущих клапанах (рис. 1, 2, 3) увеличение скорости расходящегося потока первого компонента 20 в зазоре 13 образует кольцевые зоны разрежения 15, 17, 19 со стороны тарелки 1 и кольцевые зоны разрежения 16, 18 со стороны диска 4.

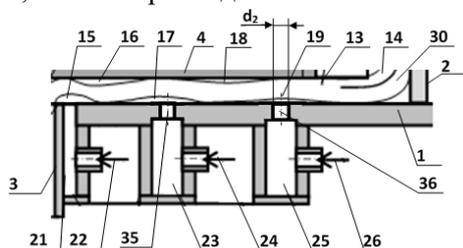


Рисунок 5– Кольцевые отверстия заменены малыми отверстиями в тарелке

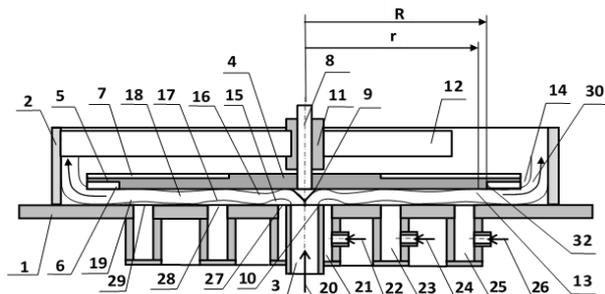


Рисунок 4 - Устройство для получения многокомпонентной смеси

Разрежением, образующимся в кольцевых зонах 15÷19, создается присасывающая сила, которая преодолевает силу давления потока первого компонента 20, выходящего из сопла 3, уменьшает зазор 13 между диском 4 и тарелкой 1 до тех пор, пока не наступит равновесное состояние диска 4 в зазоре 13, препятствующее трению диска 4 о тарелку 1 и о подшипник 11. В то же время, разрежением кольцевых зон 15, 17, 19 через кольцевые отверстия 27, 28, 29 из кольцевых емкостей 21, 23, 25 всасываются компоненты 22, 24, 26 в зазор 13. Смешиванием всех компонентов 20, 22, 24, 26 образуется многокомпонентная смесь 30, которая перемещается в радиальном направлении по зазору 13 и лопастями 6 приводит во вращение диск 4. За

пределами вращающегося диска 4 многокомпонентная смесь 30 переливным кольцом 2, как показано на рис. 4, разворачивается по внутренней поверхности переливного кольца 2 и через зазор 14 выходит в свободное пространство над диском 4. При этом более легкие фракции смеси 30 поднимаются над переливным кольцом 2, одна часть более тяжелых фракций смеси 30 опускается на поверхность тарелки за пределами переливного кольца 2, а другая их часть, попадая на вращающийся диск 4, ведомыми лопастями 7 разбрызгивается на более мелкие капли вплоть до образования тумана и вновь смешивается с многокомпонентной смесью 30, выходящей из зазора 14. При этом ширина кольцевых зон разрежения 15, 17, 19 не превышает ширины кольцевых отверстий 27, 28, 29. Кольцевые отверстия 27, 28, 29 могут быть заменены рядом малых отверстий 35, 36 в тарелке 1, также расположенных в зонах разрежения 15, 17, 19 коаксиально соплу 3, а их диаметры не должны превышать ширины кольцевых отверстий 27, 28, 29, как показано на рис. 5. Учитывая, что разрежение снижается от кольцевой зоны 15 к кольцевым зонам 17, 19, пропускание компонентов из кольцевых емкостей 23, 25 через малые отверстия может предпочтительнее, чем через кольцевые отверстия 28, 29 из-за малого разрежения в кольцевых зонах 17, 19. В случае недостаточного разрежения в зазоре между тарелкой 1 и диском 4 для всасывания, по крайней мере, одного компонента смеси через кольцевое отверстие или через ряд малых отверстий в тарелке 1, компонент смеси из кольцевой емкости в кольцевую зону разрежения между тарелкой и диском возможно подавать под давлением через патрубки 22, 24, 26.

Во вращающихся клапанах (рис. 3 и 4) лопасти выполняют выступающими над поверхностью диска клапана. В этом случае увеличивается кавитация потока в зазоре и над клапаном, но снижается эффект образования кольцевых зон разрежения. При заглублении лопастей в диск клапана снижается кавитация потока в зазоре и над клапаном, но увеличивается эффект образования кольцевых зон разрежения. Лопасти могут быть направлены в одну сторону относительно направления вращения клапана, а также могут быть направлены в разные стороны относительно направления вращения. Направле-

ние лопастей в разные стороны увеличивает кавитацию потока, но требует большего давления смеси 20 на входе в сопло 3.

Следует также учитывать, что при давлениях до 0,05 МПа на входе в зазор, сплошное переливное кольцо снижает сопротивление потоку газожидкостной смеси на выходе из зазора за пределами клапана. При этом поток газожидкостной смеси разворачивается по внутренней поверхности переливного кольца в свободное пространство над клапаном и позволяет более легким фракциям подниматься вверх, а более тяжелым фракциям опускаться на поверхность тарелки за пределами переливного кольца, что препятствует попаданию жидкой фазы в кольцевой зазор и «захлебыванию» клапана при снижении скорости расходящегося потока в зазоре между тарелкой и клапаном. Если давление газожидкостной смеси на входе в зазор будет выше 0,05 МПа, то сплошное переливное кольцо 2 не может препятствовать «захлебыванию» клапана, поэтому его выполняют со сквозными кольцевыми пазами 34, как показано на рис. 6, и крепят на тарелке перемычками 23, как показано на рис. 3. В результате увеличивается интенсификация теплообмена смеси.

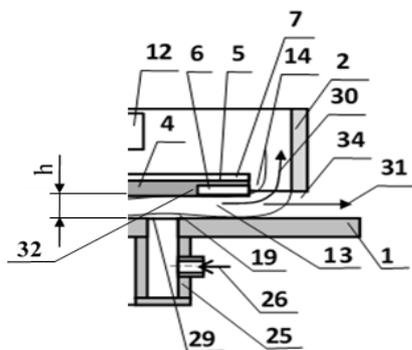


Рисунок 6 – Переливное кольцо кольцевыми пазами

Предложенными устройствами [5, 6, 7, 8], показанными на рис. 1, 2, 3, 4, сделана попытка создания новой концепции теплообмена, основанной на применении микроструктурных поверхностей, которая позволяет значительно увеличить площадь теплообмена и повысить эффективность передачи тепла между газом и жидкостью. Это способствует увеличению поверхности теплообмена и улучшению теплоотдачи между фазами и открывает новые возможности для оптимизации процессов теплообмена.

Клапан с изменяемым режимом работы [5] (рис. 1) позволяет автоматически регулировать теплоотдачу и массопередачу в зависимости от изменяющихся условий процесса. Благодаря колебаниям клапана достигается более эффективное использование тепла и массы, что способствует снижению энергозатрат и повышению производительности.

Клапан [6] (рис. 2) по сравнению с клапаном (рис. 1) обладает высокой теплоотдачей и массопередачей за счет особенности конструкции клапана с лепестками, которые располагаются в пазах, позволяющей эффективно распределять потоки газов и жидкостей, обеспечивать компактные габариты, низкое сопротивление потоку и высокую эффективность работы в широком диапазоне рабочих режимов.

Клапан [7] (рис. 3) по сравнению с клапанами (рис. 1 и 2) обладает еще более высокой теплоотдачей и массопередачей за счет вращения и расположения лопастей с обеих сторон клапана, позволяющей эффективно распределять потоки газов и жидкостей, обеспечивать компактные габариты, низкое сопротивление потоку и высокую эффективность смешивания компонентов в широком диапазоне рабочих режимов.

Преимущества новых способов теплообмена и новых конструкций клапанов заключаются:

- в повышении теплоотдачи и теплообменной поверхности благодаря использованию специальных конструкций и технологий, что способствует более эффективному переносу тепла между фазами, что особенно важно при работе с газожидкостными смесями;
- в уменьшении энергопотребления за счет оптимизации процесса обмена теплом, что выражается в сокращении расходов на отопление и охлаждение в производственных и технологических системах;
- в повышении характеристик теплообмена по сравнению с традиционными методами и клапанными тарелками;
- в эффективности процесса массопередачи за счет оптимизации геометрии клапана и его конструкции.

Следует учесть, что клапаны [5, 6, 7, 8] могут применяться при давлениях на входе сопла не менее 0,03 МПа, а величина осевого зазора между тарелкой 1, клапаном 3 или диском 4 может изменяться в пределах

1/12÷1/16 диаметра сопла.

Таким образом, новые устройства клапанов [5, 6, 7, 8] представляют собой инновационные разработки в данной области, которые могут значительно улучшить процессы теплообмена и повысить эффективность промышленных устройств за счет выгод в энергоэффективности, надежности, экологичности процессов теплообмена с парогазовыми и газожидкостными смесями.

Исследования показали, что устойчивая пульсация стальной мембраны толщиной 0,6 мм диаметром 100-110 мм при давлении в зазоре от 0,04 МПа наблюдалась при величине зазора в пределах от 0,2 мм до 0,5 мм.

Интенсификация теплообмена смесей [5, 6, 7, 8] позволяет повысить эффективность процесса массопередачи, а предложенные устройства клапанов могут быть особенно эффективны при работе с высокотемпературными или агрессивными средами.

Предложенные способы и устройства теплообмена способствуют снижению газообразных выбросов и улучшению экологических показателей производства, что особенно актуально в настоящее время, когда важно соблюдать стандарты по защите окружающей среды и уменьшению углеродного следа.

Предложенные способы теплообмена и смешивания нескольких компонентов с вращающимися дисками [8] повышают качество приготовления многокомпонентных смесей при отдельной их подаче непосредственно в зону смешивания, что особенно эффективно при испарении жидкости с по-

верхности капель со снижением диаметра капель и применимо при смешивании компонентов, абсорбции, ректификации и очистке газов для получения тонких эмульсий, суспензий, насыщенных растворов, гомогенных смесей и в других технологических процессах при атмосферном или повышенном давлении.

Перед научными работниками и инженерами открываются новые перспективы для разработки высокотехнологичных и развития эффективных и экономичных систем переработки различных веществ, позволяющих значительно улучшить производственные процессы и снизить энергозатраты, что делает их особенно ценными для научно-исследовательских целей и промышленности. Совершенствование предложенных теплообменных способов и устройств в перспективе может внести значимый вклад в развитие области теплообмена газожидкостных смесей.

Учитывая, что современные технологии теплообмена играют важную роль во многих отраслях промышленности, где необходимо эффективно переносить тепло и массу между газами и жидкостями, одним из ключевых направлений их развития является способность повышения эффективности теплообмена газожидкостных смесей, энергоэффективности, а их дальнейшие исследования смогут привести к появлению еще более инновационных подходов и к созданию основы для новых технологий в данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепанов А.П. Новые возможности использования безотрывного течения потока жидкости в узком зазоре между пластинами. // Современные технологии и научно – технический прогресс. Тезисы докладов научно–технической конференции. Ангарск, 1994 г. –

2. Черепанов А.П. Пневматический резонатор упругих колебаний пластин // Современные технологии и научно – технический прогресс. Тезисы докладов научно–технической конференции. Ангарск, 1995 г.

3. Черепанов А. П. Силовые характеристики потока при подаче его в радиально-щелевой зазор в поперечном направлении /

А. П. Черепанов, П. К. Ляпустин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. № 1 (69). С. 58-67.– DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69). 58-67.

4. Черепанов А.П. Исследование расходящегося потока в зазоре между стенками с образованием кольцевых зон разрежения / А. П. Черепанов, П. К. Ляпустин, В. В. Ёлшин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 22–31. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).22-31.

5. Патент № 2657301 Российская Федерация, МПК В01D 3/14. Способ образования пульсаций газожидкостной смеси и

устройство для его осуществления. Оpubл.: 19.06.2018 Бюл. № 17/ Черепанов А.П. Заявитель: ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет». – 8с.: ил. – Текст: непосредственный..

6. Патент № 2824813 Российская Федерация, МПК В 01 D3/14, В01D 3/16, В01D 3/20 (2006.01). Способ теплообмена парогазовой смеси и устройство для его осуществления: № 2024100413: заявл. 9.01.2024 :опубл.: 14.08.2024. Бюл. № 23 / Черепанов А.П. Ангарский государственный технический университет. – 13с. : ил. – Текст : непосредственный.

7. Патент № 2830292 Российская Федерация, МПК В01D 3/20, В01F 5/22 (2006.01). Способ теплообмена га-

зожидкостной смеси и устройство для его осуществления: № 2024105334: заявл. 29.02.2024: опубл. 18.11.2024. Бюл. № 32 / Черепанов А.П. Патентообладатель: Ангарский государственный технический университет. – 13 с. : ил. – Текст : непосредственный.

8. Патент № 2836165 Российская Федерация, МПК В01F 23/00, В01F 25/00, В01F 27/00, В01F 33/00 (2022.01). Способ получения многокомпонентной смеси при теплообмене и устройство для его осуществления: № 2024110995: заявл. 19.04.2024 опубл.: 11.03.2025 Бюл. № 8 / Черепанов А.П. Патентообладатель: Ангарский государственный технический университет. – 19 с. : ил. – Текст : непосредственный.

УДК 62-555.62

Щербин Сергей Анатольевич,

*к.т.н., доцент, декан факультета технической кибернетики,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: dekan_ftk@angtu.ru*

Глазков Евгений Викторович,

студент гр. ТМм-24-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: evglazkov27@gmail.com

КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Shcherbin S.A., Glazkov E.V.

COMPENSATION OF TEMPERATURE DEFORMATIONS

Аннотация. В статье проанализированы причины и возможные последствия температурных деформаций в оборудовании, а также перспективные мероприятия для компенсации этого опасного явления.

Ключевые слова: температурное расширение, деформация, компенсация тепловых удлинений, температурный зазор.

Abstract. The article analyzes the causes and possible consequences of temperature deformations in equipment, as well as promising measures to compensate for this dangerous phenomenon.

Keywords: thermal expansion, deformation, compensation of thermal elongation, temperature gap.

Физическое свойство температурного расширения материалов обуславливает одну из значимых проблем современного машиностроения. При изменении температуры все материалы изменяют свои линейные размеры, что может привести к возникновению значительных напряжений в материалах, составляющих жесткие конструкции и, как следствие, к их разрушению. Особенно критичной эта проблема становится в узлах соединения различных элементов, где концентрируются механические напряжения.

Согласно современным нормативным документам, компенсация теплового расширения должна предусматриваться на этапе проектирования для всех конструкций, подверженных температурным воздействиям. Отсутствие мероприятий, компенсирующих этот фактор, может привести к серьезным авариям, особенно в трубопроводных системах, технологическом оборудовании и строительных конструкциях.

В соответствии с Правилами промышленной безопасности при использовании