

Кейс №3 — Пена при скоростном розливе газированных напитков

Разбор инженерного бюро «КБ Сдвиг» · 15.07.2026 · демонстрационный кейс (без заказчика)

Задача

При повышении скорости налива на линии розлива газированных напитков в бутылках образуется обильная пена: перелив и недолив, брак по уровню, залитые этикетки. Скорость снижать нельзя — производительность; напиток уже охлаждён до предельно допустимой температуры; рецептуру и газацию менять нельзя. Цель: поднять скорость розлива при стабильном уровне налива и без пенного брака.

Где конфликт

Пена — это растворённый углекислый газ, которому дали повод выйти. Поводов ровно четыре, и все усиливаются со скоростью: перепад давления (в баке напиток под давлением, в бутылке — атмосфера), турбулентность струи (удар о дно, перемешивание), центры нуклеации (микрочастицы и шероховатости на таре, на которых рождаются пузырьки) и температура (у вас уже на пределе — этот рычаг исчерпан). Отсюда программа: не бороться с пеной, а последовательно отнимать у газа поводы выходить — давлением, геометрией, чистотой — и добывать остаток уже над жидкостью.

Рекомендованные ходы

А. Противодействие: изобарический налив и герметичность — главный рычаг

Промышленный стандарт для газированных продуктов: перед наливом бутылка наддувается CO_2 до давления наливного бака (обычно 2–4 бар), и напиток стекает без перепада давления — газу незачем выходить. Если линия уже изобарическая, а пена всё равно есть — первым делом аудит герметичности и настроек: даже малая утечка газа из бутылки или воздуха в систему рушит баланс давления, и именно это проявляется на высокой скорости. Проверка: замер противодействия на каждом наливном узле карусели, опрессовка уплотнений, сверка давления бака с фактическим в бутылке. Риск: изношенные уплотнения на быстрой карусели — расходная статья; закладывать регламент замены.

В. Геометрия струи: плёночный налив по стенке

Самая устойчивая семья машинного поиска (угол налива — 3 из 7 генераций, плюс наклон горловины и диффузор): напиток не должен бить в дно — он должен стекать плёнкой по стенке бутылки. В наливных клапанах это штатные элементы: завихрители и отражатели-«зонтики», распределяющие поток по стенке, удлинённые наливные трубки. Скорость сохраняется, турбулентность — нет. Проверка: пилот на одном-двух клапанах карусели (завихритель/трубка), сравнение брака по уровню с соседними клапанами на той же скорости. Риск: элементы в продуктовой зоне — санитарная мойка и сертификация материалов.

С. Профиль налива: быстро в середине, плавно на краях

Пена рождается в первый момент (удар о пустое дно) и в последний (заполненное горло). Электронно-управляемые клапаны с расходомером позволяют профиль: мягкий старт → быстрый основной налив → мягкое окончание. Средняя скорость растёт, пиковые провокаторы пены убраны — разделение требований «быстро» и «спокойно» во времени. Проверка: если

клапаны электронные — перенастройка профиля, это вопрос параметров, не железа. Риск: на механических клапанах хода нет — тогда это аргумент в план модернизации.

D. Отнять у пузырьков места рождения

Пена стартует на центрах нуклеации — пыль, микрочастицы, шероховатости внутри тары. Ополаскивание бутылок (ринзер) непосредственно перед наливом и контроль качества тары снижают пенообразование без единого изменения в самом наливе. Дешёвый и часто недооценённый рычаг. Проверка: партия с ринзером против партии без — сравнение брака на одинаковой скорости.

E. Добить остаток: ультразвуковое пеногашение над горлом

Если после A-D остаётся тонкий слой пены — его гасят акустически: ультразвуковые излучатели над зоной налива/укупорки заставляют плёнки пузырей пульсировать и лопаться. Технология применяется на линиях розлива (пиво, квас), расходников не требует — только электроэнергия. Важная поправка к машинному предложению: ультразвук работает как пеногаситель над жидкостью; «кавитация в потоке», как предлагала машина, дала бы обратный эффект — кавитационные пузырьки сами стали бы зародышами пены. Проверка: стендовый излучатель над одним наливным узлом. Риск: интеграция в карусель по месту; шумозащита.

Что отклонено и почему (машина предлагала — агент снял)

- «Ультразвуковая кавитация в потоке напитка» (топ-3 машинного ранжирования) — физика наоборот: кавитация создаёт газовые зародыши, то есть производит пену. Механизм спасён переносом в правильное место (ход E).
- «Текстурированная горловина под кожу акулы», «композиционное покрытие горловины» — горловина бутылки стандартизована (укупорка!), а любое покрытие в продуктовой зоне — отдельная пищевая сертификация; шероховатость внутри горла к тому же добавила бы центров нуклеации.
- «Сужение горловины», «турбулизатор в горловине» — тара фиксирована условием производства; турбулизатор противоречит собственной цели (турбулентность и есть источник пены).
- «Ионизация воздуха в горловине» — механизм не действует на выход растворённого CO₂; заряд не удерживает газ в жидкости.

Первый шаг

Аудит одного наливного узла на рабочей скорости: фактическое противодавление, герметичность, геометрия струи (бьёт в дно или стекает по стенке), тип клапана (есть ли профиль). Это один день работы с манометром и скоростной камерой — и он превращает «у нас пена» в конкретный пункт A-E. Параллельно — дешёвый тест D: партия через ринзер. Метрика всюду одна: процент брака по уровню на заданной скорости.

Как сделан разбор: наш поисковый движок (глубокий режим: 7 независимых генераций, пометки повторяемости механизмов) дал поле кандидатов — семья «геометрия налива» с наибольшей повторяемостью совпала с промышленным стандартом; инженер-агент собрал причинную схему пенообразования, проверил ходы по физике и ограничениям, перенёс ультразвук из потока (где он вредит) в пеногашение (где он работает) и сверил программу с отраслевой практикой изобарического розлива. Машина ищет широко — отвечает человек.