



## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ

Хэбэшеску И.Ф., Черемпей В.А., Молотков Ю.А., Руских Д.Л.  
Институт Сельскохозяйственной Техники «MECAGRO»

**Реферат** – В работе описан способ приготовления жидких биотопливных смесей, основанный на принципе постоянства расхода истечения жидкости через калиброванное отверстие под действием постоянного избыточного давления. На основании теоретических исследований даются рекомендации по расчету геометрических параметров дозаторов. Приводятся сведения об экспериментальной установке для приготовления топливных смесей "Biomixt-Pres", разработанной авторами, а также результаты ее испытаний.

**Ключевые слова:** смесь, дозирование, ошибка, установка, испытания

### ARGUMENTATION OF PARAMETER OF THE INSTALLATION FOR PREPARATION OF FUEL MISTURES

HABASHESCU Ion, CEREMPEI Valerian, MOLOTCOV Iurie, RUSCHIIH Denis  
Institute of Agricultural Technique „Mecagro”

**Abstract** - This paper describes the preparation method of liquid biofuel mixtures, based on the principle of the constancy of the flow of liquid through calibrated orifice under constant overpressure action. On the basis of theoretical researches, it provides recommendations for calculating the geometric parameters of the dispensers. It presents information about the installation for preparation of fuel mixtures "Biomixt-pres", developed by the authors, and its tests results.

**Keywords:** mixture, dosing, error, installation, tests

### ARGUMENTAREA PARAMETRILOR INSTALAȚIEI PENTRU PREPARAREA AMESTECURILOR COMBUSTIBILE

HĂBĂȘESCU Ion, CEREMPEI Valerian, MOLOTCOV Iurie, RUSCHIIH Denis  
Institutul de Tehnică Agricolă „MECAGRO”

**Rezumat** – Este descrisă metoda preparării amestecurilor biocombustibile lichizi, bazată pe fenomenul menținerii constante a debitului de curgere al lichidului prin orificiu calibrat sub acțiunea suprapresiunii constante. În baza cercetărilor teoretice sunt date recomandări de calcul al parametrilor geometrici ai dozatorului. Este prezentată informația despre instalația „Biomixt-Pres” pentru prepararea amestecurilor combustibile, elaborată de autori, precum și rezultatele încercărilor acesteia.

**Cuvinte-cheie:** amestec, dozare, eroare, instalația, încercări.

Топливные смеси для двигателей внутреннего сгорания, содержащие низкооктановый бензин и биодобавки (как правило, одноатомные спирты), получают все большее распространение в мире. Это связано с возможностью решения растущих экономических и экологических проблем. Несмотря на повышенную коррозионную активность кислородосодержащих добавок (спиртов) [1], прослеживается явная тенденция повышения их содержания в смеси, что может в перспективе привести к значительному сокращению потребления нефти. Так, например, в США и Швеции уже широко используются смеси E85 с содержанием этанола до 85%, то есть это уже биотопливо с добавкой бензина, а не наоборот [2]. Внедрение биотопливных смесей требует наличия технологического оборудования, способного с высокой точностью дозировать и

смешивать его компоненты. Причем этих компонентов может быть несколько.

Впервые в странах СНГ специалистами ООО "[Завод УКРБУДМАШ](#)" (Украина) были спроектированы и серийно выпускаются установки для приготовления топливных смесей в потоке с использованием эжекторного принципа дозирования [3,4]. Однако данный способ дозирования обладает малым КПД (менее 35%), поэтому удельные затраты энергии на производство топливной смеси способом эжекции достаточно высоки (более 0,8 кВт.час/м<sup>3</sup>) [4]. Помимо этого в установках такого типа невозможен прямой контроль и калибровка производительностей форсунок подачи добавок и присадок. Приходится полагаться только на показания приборов контроля, что приводит к существенным ошибкам поддержания соотношения компонентов смеси. Для более точного

дозирования можно использовать и появившиеся в последние годы многоканальные дозирующие насосы, однако это приведет к резкому увеличению стоимости установки и, как следствие, сделает ее менее привлекательной для потенциальных потребителей. Возникает проблема создания простой в обслуживании, надежной и достаточно дешевой установки, позволяющей производить высококачественные многокомпонентные топливные смеси с любой заданной производительностью. Решением этой проблемы специалисты нашего института занимаются уже более шести лет. За это время была создана и испытана малогабаритная экспериментальная установка для приготовления двухкомпонентных топливных смесей в потоке, получившая коммерческое название “Biomixt” [5,6]. В развитии этого направления исследований нами была выполнена работа, результаты которой приведены ниже.

Нашей целью явилось создание установки для приготовления смесового биотоплива с любым количеством и соотношением входящих в него компонентов на базе ее научно обоснованных параметров.

В основу работы предложенной нами установки положен принцип постоянства расхода истечения жидкости через калиброванное отверстие (сливной канал) под действием постоянного избыточного давления [7]. Известно, что в этом случае расход истечения  $Q$  при площади  $S$  сечения отверстия, через которое происходит истечение, скорости истечения  $v$ , коэффициенте расхода  $\mu$  и полном (приведенном) напоре истечения  $H$  выражается формулой [8]:

$$Q = Sv = S\mu\sqrt{2gH} \quad (1)$$

При этом полный напор истечения  $H$  определяется высотой столба жидкости  $h$  в сосуде, разностью между абсолютным давлением  $p_{абс.}$  на входе отверстия истечения, атмосферным давлением  $p_0$  и плотностью  $\rho$  дозируемой жидкости [9,10]:

$$H = h + (p_{абс.} - p_0) / \rho g = h + \Delta p / \rho g \quad (2)$$

В “(2)” разность  $(p_{абс.} - p_0) = \Delta p$  является избыточным давлением внутри сосуда из которого происходит истечение жидкости через отверстие сечением  $S$  (рис.1).

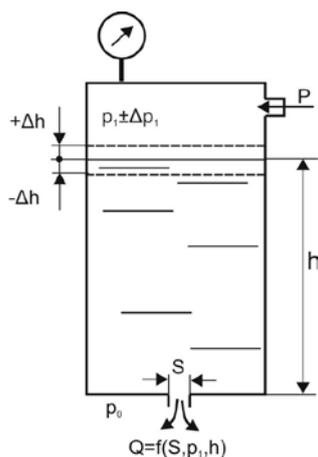


Рис.1. Схема дозатора на принципе истечения жидкости через калиброванное отверстие

Для удобства дальнейшего изложения обозначим  $\Delta p = p_1$ . Изменяя значение  $S$  можно пропорционально изменять расход истечения  $Q$  при неизменных остальных параметрах, входящих в “(2)” и “(3)”.

Коэффициент расхода  $\mu$  (см. “(1)”) является произведением коэффициента сжатия струи  $\epsilon$  и коэффициента скорости  $\phi$ , которые в свою очередь зависят от числа Рейнольдса\*\*, описывающего характер движения дозируемой жидкости через приведенный диаметр  $d$  канала истечения, скорость  $v$  истечения идеальной жидкости и ее кинематическую вязкость  $\nu$  [8,11,12,13]:

$$Re = dv / \nu = d\sqrt{2gH} / \nu \quad (3)$$

С увеличением скорости истечения  $v$  и связанным с этим увеличением  $Re$  коэффициент сжатия струи  $\epsilon$  уменьшается и стремится к значению  $\epsilon = 0,6$ , а коэффициент скорости  $\phi$  быстро нарастает и стремится к значению  $\phi = 1,0$  (рис.2) [14].

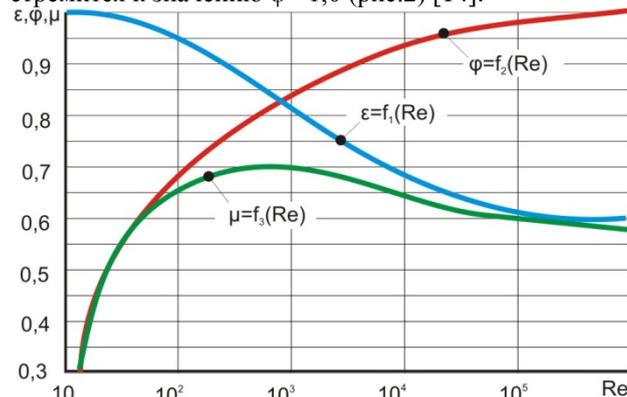


Рис.2. Зависимость коэффициентов истечения от числа Рейнольдса (Re)

Коэффициент расхода  $\mu$ , являясь произведением коэффициентов  $\phi$  и  $\epsilon$ , на первом этапе растёт, достигая максимального значения ( $\mu = 0,69$  при  $Re \approx 350$ ), а затем плавно снижается до  $\mu = 0,6$  и мало меняется при дальнейшем увеличении  $Re$ . Таким образом, за счёт коэффициента  $\mu$  величина фактического расхода истечения  $Q$  уменьшается на 30 – 40 % относительно расхода, рассчитанного для идеальной жидкости. Интерес представляет участок графика  $\mu = f_3(Re)$ , где изменения величины  $\mu$  малы при вариации  $Re$ , то есть, когда  $Re > 10^4$ . В этом случае величина расхода  $Q$  будет зависеть только от сечения  $S$  (при неизменных величинах  $p_1$  и  $h$ ), что даст возможность сократить ошибку дозирования, исключив один из источников ее появления – зависимость коэффициента расхода  $\mu$  от характера истечения жидкости ( $Re$ ).

На величину полного напора истечения  $H$  “(2)” а, следовательно, и на расход  $Q$  “(1)”, влияет высота столба жидкости в сосуде  $h$ . На практике значение  $h$  возможно поддерживать с конечной точностью, то есть фактически  $h$  в любой момент времени будет находиться в диапазоне  $h \pm \Delta h$ . Чем совершеннее способ поддержания  $h$  постоянной, тем меньше будет

\*\* Уравнение справедливо для малых отверстий. Малым считается такое отверстие, у которого  $d < 0,1H$ , где  $d$  - диаметр отверстия,  $H$  - напор над центром отверстия [15].

величина  $\Delta h$ . Поэтому постоянно будет существовать разность между заданным расходом истечения  $Q$  и его фактическим значением  $Q_{\phi}$ , то есть появится ошибка дозирования  $\delta$ :

$$\delta = (Q - Q_{\phi}) / Q = \left[ 1 - \sqrt{1 + \Delta h / (h + p_1 / \rho g)} \right] \cdot 100\% \quad (4)$$

Очевидно, что для уменьшения  $\delta$  необходимо либо увеличивать высоту  $h$  (см. "(4)"), либо – избыточное давление  $p_1$  в сосуде из которого происходит истечение. Следует обратить внимание на то, что поддерживать избыточное давление  $p_1$  возможно также с конечной точностью, то есть фактическое избыточное давление в сосуде будет находиться в пределах  $p_1 \pm \Delta p_1$ . Оценим степень влияния  $\Delta p_1$  и  $\Delta h$  на величину  $\Delta Q$ . На рис.3а показана зависимость ошибки дозирования  $\delta$  от избыточного давления  $p_1$  в рабочем резервуаре при различной высоте столба жидкости  $h$  и фиксированном отклонении  $\Delta h$ .

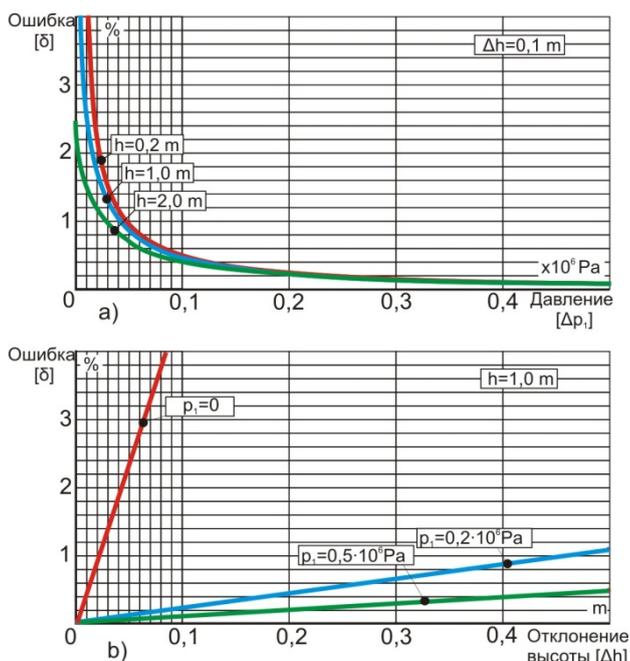


Рис.3. Зависимости ошибки дозирования: а) от избыточного давления  $p_1$  в сосуде; в) от отклонения высоты столба жидкости  $\Delta h$  в сосуде

Из графика следует, что при  $p_1 > 0,2 \cdot 10^6$  Па исходная высота столба жидкости  $h$  уже практически не влияет на величину ошибки  $\delta$ , которая становится зависимой только от абсолютной величины  $\Delta h$  (рис.3б). Для сравнения здесь показана прямая  $\delta = f(\Delta h)$  при  $p_1 = 0$ , то есть для случая, когда давление в рабочем резервуаре равно атмосферному (свободное истечение). В этом случае величина  $\delta$  сильно зависит от  $\Delta h$ :  $\delta \approx 49 \cdot \Delta h / h$ . При увеличении давления  $p_1$  до  $0,2 \cdot 10^6$  Па эта зависимость становится намного слабее:  $\delta \approx 2,3 \cdot \Delta h / h$ . При давлении  $p_1 = 0,5 \cdot 10^6$  Па:  $\delta \approx 1,0 \cdot \Delta h / h$ . Таким образом, можно утверждать, что с повышением давления зависимость  $\delta = f(\Delta h)$  становится слабее и в пределе ( $p_1 \rightarrow \infty$ ) ошибка дозирования не зависит от величины  $\Delta h$  - прямая  $\delta = f(\Delta h)$  на графике рис.3в совпадает с осью абсцисс. Поэтому, при больших значениях  $p_1$  ошибка дозирования  $\delta$  зависит только

от погрешностей в поддержании заданного давления в сосуде.

При проектировании реального дозатора по схеме показанной на рис.1, возникают значительные трудности при пополнения рабочего резервуара (сосуда) дозируемой жидкостью в процессе работы дозатора. Действительно, давление  $p_1$  в рабочем резервуаре поддерживается постоянным за счет нагнетания в него сжатого воздуха. Если в герметичный резервуар закачивать насосом еще и жидкость, то давление  $p_1$  будет неуправляемо расти, превышая заданную величину.. Поэтому во время добавления жидкости будет повышаться и расход истечения  $Q$ , а следовательно возникнет ошибка дозирования. Этот недостаток можно устранить, если давление  $p_1$  поддерживать путем подачи в рабочий резервуар дозируемой жидкости. В этом случае несжимаемая жидкость сжимает воздух внутри резервуара и тем самым создает избыточное давление  $p_1$ . Но сжатый воздух постепенно растворяется в дозируемой жидкости. Причем чем выше  $p_1$ , тем активней происходит это растворение. Так, например, в воде при температуре  $20^\circ\text{C}$  и нормальном атмосферном давлении растворимость воздуха по данным [16,17,18] составляет  $0,0187 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  воды. При повышении давления  $p_1$  до  $0,3 \text{ МПа}$ , растворимость воздуха в воде становится почти втрое большей [19]. Поэтому уровень жидкости в рабочем резервуаре будет постоянно повышаться и, в конечном итоге, заполнит его. Управлять давлением  $p_1$  окажется невозможным из-за несжимаемости жидкости. Для исключения этого недостатка, был разработан дозатор (рис.4), в котором давление  $p_1$  поддерживается комбинированным способом: путем подачи в рабочий резервуар дозируемой жидкости или сжатого воздуха.

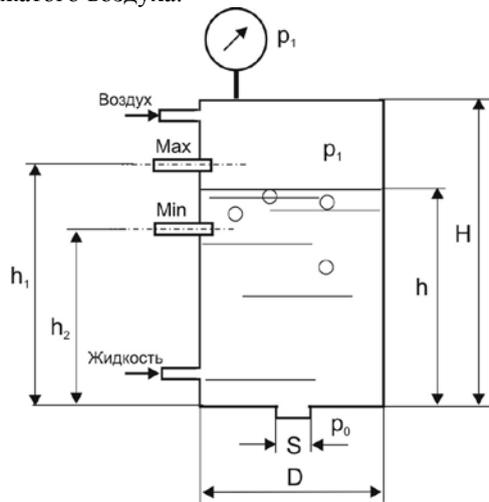


Рис.4. Схема дозатора непрерывного действия с комбинированным способом поддержания избыточного давления в рабочем резервуаре

Для перехода с одного режима на другой на боковой стенке рабочего резервуара установлены датчики максимального (max) и минимального (min) уровня. Они контролируют уровень жидкости в резервуаре. Пока уровень жидкости не достиг максимального значения давление  $p_1$  поддерживается за счет подачи жидкости в рабочий резервуар, как только

максимальный уровень достигнут давление  $p_1$  поддерживают уже за счет подачи в рабочий резервуар сжатого воздуха.

При снижении уровня жидкости до датчика (min) давление  $p_1$  вновь начинают поддерживать подачей дозируемой жидкости [7]. Для надежной работы такого дозатора необходимо правильно определить его геометрические параметры и координаты установки датчиков уровня. Основные размеры  $H$  (высота) и  $D$  (диаметр) рабочего резервуара задаются исходя из общей компоновки устройства, в котором будет установлен дозатор. При этом, полный объем рабочего резервуара  $V$  будет:

$$V = \pi D^2 H / 4, \quad (5)$$

Объем  $V$  занимает воздух перед подачей в рабочий резервуар жидкости. При этом давление внутри резервуара равно атмосферному  $p_0$  (избыточное давление  $p_1 = 0$ ). При подаче в резервуар жидкости, воздух сжимается до объема  $V_g$  и его абсолютное давление  $p_{абс} = p_1 + p_0$  повышается согласно закона Бойля-Мариотта ( $p_{абс} \cdot V_g = \text{const}$  при постоянных: величинах массы и температуры газа) [20,21]. Тогда, согласно упомянутому закону, будет справедлива пропорция (повышением температуры при сжатии воздуха пренебрегаем):

$$V / V_g = p_{абс} / p_0 = (p_1 + p_0) / p_0, \quad (6)$$

откуда:  $V_g = V / (p_1 / p_0 + 1)$ . (7)

Подставляя значение  $V$  из “(5)” в “(7)”, получаем:

$$V_g = \pi D^2 H / 4 (p_1 / p_0 + 1). \quad (8)$$

Зная объем  $V_g$  и учитывая то, что жидкость занимает оставшийся объем рабочего резервуара  $V_a$ :

$$V_a = \pi D^2 H / 4 - V_g = \pi D^2 H / 4 [1 - 1 / (p_1 / p_0 + 1)], \quad (9)$$

можно вывести выражение для расчета высоты  $h$  (см.рис.4), на которую поднимется жидкость в рабочей емкости при достижении заданного избыточного давления  $p_1^*$ .

$$h = H [1 - 1 / (p_1 / p_0 + 1)]. \quad (10)$$

Следует обратить внимание на то, что “(10)” не содержит величины  $D$ , то есть уровень жидкости  $h$  в рабочем резервуаре дозатора не зависит от ее диаметра и вообще от формы ее сечения, а зависит только от общей высоты резервуара  $H$  и величины избыточного давления  $p_1$  в ней.

Для определения высоты  $h_1$  (рис.4) установки датчика (Max) максимального уровня жидкости, найденное по “(10)” значение  $h$  увеличивают на величину  $\Delta = (H - h) / 2$ . В этом случае дозируемая жидкость воздействует на датчик максимального уровня только тогда, когда в ней растворится около 50% сжатого в верхней части рабочего резервуара воздуха. Это будет сигналом для перехода системы управления на режим, при котором рабочее давление  $p_1$  поддерживается за счет подачи в резервуар сжатого воздуха. Этим исключается переполнение резервуара и сбой в работе дозатора.

Высоту  $h_2$  (рис.4) установки датчика (Min) минимального уровня следует выбирать, исходя из следующих соображений. Продолжительность  $\tau$

снижения уровня жидкости от  $h_1$  до  $h_2$  не должна быть слишком короткой. В противном случае ( $\tau < 10$  с) насос подачи жидкости в рабочий резервуар будет работать в повторно-кратковременном режиме, что крайне негативно скажется на его надежности. Проведенные нами исследования показали, что  $\tau$  должно быть не менее 15 с. Таким образом, величина  $h_2$  может быть выбрана из условия:

$$h_2 \leq h_1 - 60Q / \pi D^2. \quad (11)$$

При малых значениях  $D$  может случиться так, что разность в правой части “(11)” станет отрицательной. В этом случае необходимо либо увеличить  $D$ , либо пойти на сокращение  $\tau$ .

Напор, развиваемый насосом подачи дозируемой жидкости в рабочий резервуар, должен быть не ниже  $(1,5 \dots 2,0)p_1$ . Это позволит насосу помимо поддержания заданного  $p_1$ , преодолевать гидравлические сопротивления соединительных трубопроводов. При этом производительность насоса должна быть в диапазоне  $(4 \dots 5)Q$ . Если этот показатель окажется намного большим, то возможно возникновение явления существенного «перерегулирования»\*\* в процессе поддержания заданного давления путем подачи жидкости, что приведет к дополнительным ошибкам дозирования. Меньшее значение производительности может плохо сказаться на быстродействии системы регулирования давления в рабочей емкости. При этом тип насоса может быть любым, но использование поршневых насосов потребует применения средств, демпфирующих колебания давления на его выходе.

На основании проведенных теоретических рассуждений, касающихся процессов истечения жидкости через калиброванное отверстие под действием избыточного давления, был разработан экспериментальный образец установки для приготовления двухкомпонентных топливных смесей, получивший коммерческое название «Biomixt-Pres» [7].

Экспериментальная установка (рис.5) состоит из рабочих резервуаров 1, 2 дозаторов компонента А и В. К каждой из них через обратные клапана 3, 4 подключены соответствующие насосы 5,6 подачи дозируемых жидкостей А и В. Внутренние пространства рабочих резервуаров связаны между собой соединительным воздушным шлангом, подключенным через обратный клапан 7 к компрессору 8. Здесь же установлен контрольный манометр 9. Помимо манометра 9, давление в рабочих емкостях контролируется датчиком давления 10, преобразующим величину давления в пропорциональный электрический сигнал, поступающий в систему автоматического управления работой дозаторов SAR1.

\* Формула справедлива для резервуаров с неизменной площадью сечения по высоте.

\*\* Перерегулирование – это количественная оценка характеризующая колебательные свойства системы, обозначается буквой  $\sigma$  и определяется в процентах относительно установившегося значения по выражению [22]:  $\sigma = (h_{\max} - h_c) / h_c$

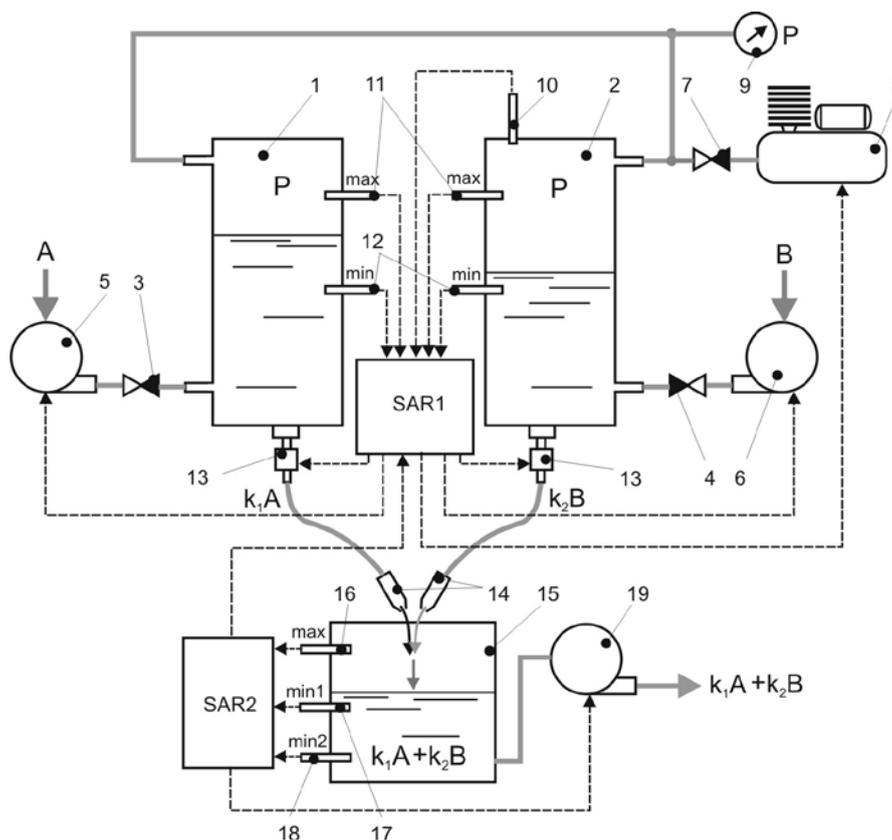


Рис.5. Схема экспериментальной установки для приготовления топливных смесей в потоке «Biomixt-Pres»

На боковых стенках каждого рабочего резервуара установлены датчики 11 максимального - и датчики 12 минимального уровней, а в нижней части каждого из них смонтирован сливной канал 13, в состав которого входит электромагнитный клапан, перекрывающий при необходимости сливное отверстие. Сечение сливного канала компонента В регулируемое, а компонента А – максимальное. Изменяя сечение сливного канала В можно готовить смесь состава  $A+kB$ , где  $k$  - коэффициент, определяющий соотношение компонентов В и А в смеси.  $k = Q_B / Q_A$ . Компоненты А и В с заданным соотношением через сливные каналы 13 попадают в смесительное устройство, состоящее из двух форсунок 14, установленных под углом друг к другу. Готовая смесь  $A+kB$  попадает в накопительную емкость 15, оборудованную датчиками уровня 16, 17 и 18 и связанную с насосом 19 отбора готовой смеси. Работой насоса 19 управляет система автоматического управления SAR2. Она же связана с системой SAR1, что формирует единую систему автоматического управления, обеспечивающую надежную работу установки в любых режимах, включая аварийные.

Работает экспериментальная установка следующим образом. Сразу же после включения, насосы 5 и 6 начинают нагнетать дозируемые жидкости в рабочие резервуары 1 и 2 дозаторов. Давление в них начинает расти и как только оно достигнет заданной величины, откроются электромагнитные клапана сливных каналов 13. Начнется процесс непрерывного дозирования компонентов А и В топливной смеси.

Датчики 11 и 12 следят за уровнями жидкостей в резервуарах 1 и 2, а датчик 10 – за уровнем рабочего давления в общей воздушной системе. При этом давление автоматически поддерживается либо подачей дозируемых жидкостей в соответствующие рабочие емкости, либо подачей сжатого воздуха от компрессора 8. Каждый компонент будущей топливной смеси, проходя сквозь фиксированное сечение своего сливного канала 13 под действием избыточного давления  $P$  в рабочем резервуаре, направляется с заданным расходом в форсунку 14 смесительного устройства. Форсунки смесительного устройства установлены под углом друг к другу. За счет этого обе струи объединяются в одну, образующую готовую топливную смесь. Готовая топливная смесь попадает в накопительную емкость 15, откуда она перекачивается насосом 19 потребителю. Общий вид установки «Biomixt-Pres» показан на рис.8: а) – вид спереди, б) – вид сзади. Установка прошла лабораторные испытания. Были оценены: точность дозирования каждым дозатором, точность поддержания соотношения компонентов смеси и соответствие полученных результатов выводам теоретических исследований. По данным, полученным в результате проведенных испытаний, были построены графики. На рис.6 показан график зависимости ошибок дозирования  $\delta$  каждого дозатора от величины давления  $p_1$  в рабочих резервуарах. Как и ожидалось, с увеличением давления  $p_1$  величина ошибки  $\delta$  уменьшается. Причем ошибка  $\delta$  оказывается тем меньше, чем больше расход истечения  $Q$ , обусловленный проходным сечением  $S$

сливного отверстия. Очевидно это связано с тем, что при больших сечениях  $S$  сливной канал дозатора меньше подвержен влиянию всякого рода механических частиц, попадающих в дозируемую жидкость, а также непредсказуемым гидравлическим процессам, происходящим в сливном канале.

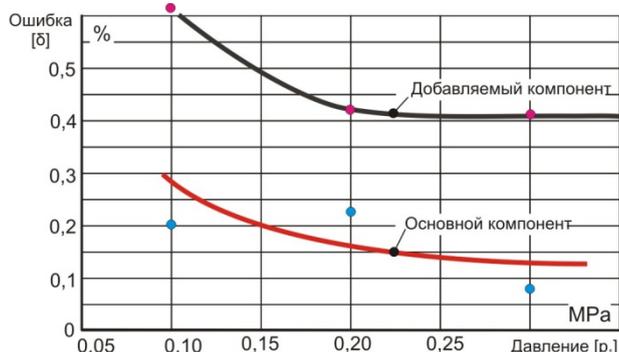


Рис.6. Зависимости ошибок дозирования от величины давления в рабочих резервуарах

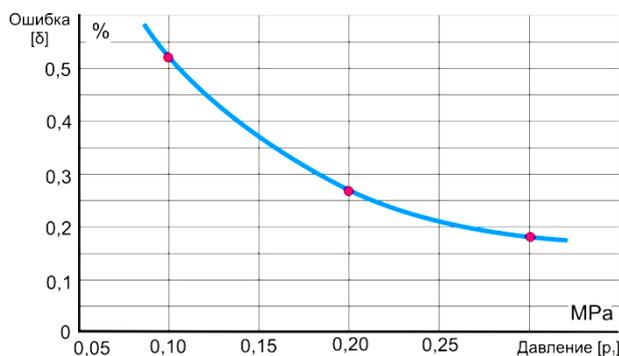


Рис.7. Зависимости ошибки соотношения компонентов смеси от давления в рабочих резервуарах

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами теоретических расчетов (см.рис.3 и рис.6). Исследования зависимости ошибки  $\delta$  поддержания соотношения компонентов смеси от давления в рабочих резервуарах дозаторов дали аналогичные результаты, с повышением давления  $p_1$  ошибка  $\delta$  поддержания соотношения компонентов смеси уменьшается по гиперболическому закону. В ходе экспериментов были определены фактические технические характеристики экспериментальной установки «Biomixt-Pres»:

- Количество смешиваемых компонентов 2;
- Максимальная производительность установки при A:B=1:1, м<sup>3</sup>/час 1,2;
- Содержание основного компонента в смеси, % 0...100;
- Содержание добавляемого компонента в смеси, %; 0...100;
- Максимальная погрешность дозирования основного и добавляемого компонентов, % не более 0,40;
- Максимальная погрешность поддержания соотношения компонентов смеси, % не более 0,18;
- Установленная электрическая мощность, кВт 1,2;
- Коэффициент использования установленной мощности 0,4;
- Удельный расход электроэнергии, кВт час/м<sup>3</sup> 0,5;
- Режим работы непрерывный.

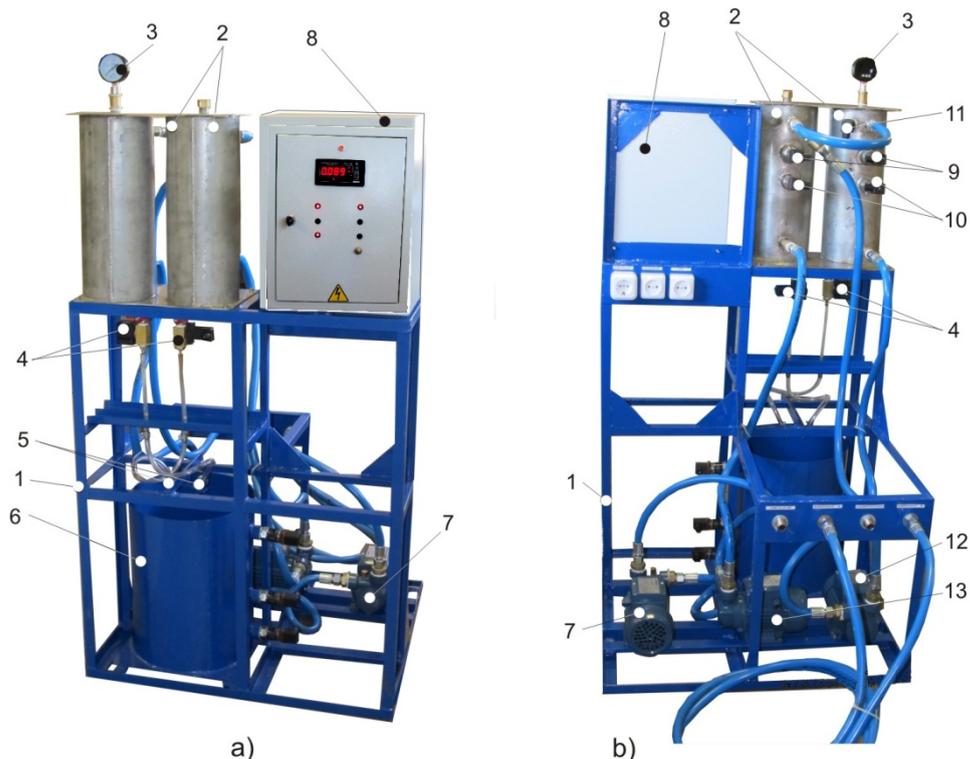


Рис.8. Экспериментальная установка для приготовления смесевых биотоплив «Biomixt-Pres»

1 – рама; 2 – рабочие резервуары; 3 – контрольный манометр; 4 – электромагнитные клапаны; 5 - сливные форсунки; 6 – накопительный резервуар; 7 – насос отбора готовой биотопливной смеси; 8 – шкаф управления; 9 – датчики максимального уровня; 10 – датчики минимального уровня; 11 – датчик давления; 12 – насос подачи компонента А; 13 – насос подачи компонента В.

Проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы.

## ВЫВОДЫ

1. Использование принципа постоянства расхода истечения жидкости через калиброванное отверстие под действием постоянного избыточного давления дает возможность проектировать установки для приготовления смесевых биотоплив с любым количеством компонентов и с высокой точностью поддержания их соотношения.
2. При проектировании установок, работающих по предлагаемому принципу, необходимо строго соблюдать разработанный нами алгоритм расчета основных геометрических параметров дозаторов.
3. С увеличением избыточного давления в рабочих резервуарах дозаторов точность работы каждого дозатора и точность поддержания соотношения компонентов смеси увеличиваются.
4. Предложенный способ приготовления жидких смесей и установка для его реализации могут использоваться как в организациях связанных с производством смесевых топлив, так и в лакокрасочной, пищевой, химической и др. отраслях промышленности.
5. Опыт, накопленный нами в процессе работы по данной проблеме, дает возможность спроектировать и изготовить установку для приготовления биотопливных смесей, соответствующую любым конкретным требованиям и пожеланиям заказчика.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Handbook for Handling , Storing, and Dispensing E85. /U.S. Department of Energy's (DOE), Office of Transportation Technologies. DOE/GO-1002001-956. Revised October 2002, 34 p.
- [2] Карпов С. А., Капустин В. М., Старков А. К., *Автомобильные топлива с биоэтанолом.* - М., КолосС, 2007, 216 с.
- [3] *Производство смесевых бензина.* - <http://www.ukrbudmash.com.ua/>.
- [4] *Установка смесевых бензинов УСБ 18 (60).* - <http://www.marketeo.pl/>.
- [5] Hăbășescu I., Cerempei V., Molotcov Iu/Brevet de invenție MD №363, *Dispozitiv pentru dozarea și amestecarea lichidelor.*
- [6] Хэбэшеску И.Ф., Черемпей В.А., Молотков Ю.А., Кожокарь С.И., Русских Д.Л., *Исследование конструктивных параметров установка для приготовления топливных смесей/Tehnologii și mijloace tehnice pentru agricultură.* - Institutul de Tehnică Agricolă „MECAGRO”, Chișinău, 2008, p.91-98
- [7] Hăbășescu I., Cerempei V., Molotcov Iu/Brevet de invenție MD №411, *Instalație de dozare continuă a lichidului (variante).*
- [8] Липатов Н.Н., *Процессы и аппараты пищевых производств.* - М., Экономика, 1987, 272 с..
- [9] *Истечение жидкости из отверстия.* Энциклопедия физики и техники. - [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/1460.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1460.html)
- [10] *Истечение жидкости из отверстий и насадков.* - <http://abc.vvsu.ru/Books/gidravlup/page0008.asp>
- [11] Френкель Н.З., *Гидравлика/ Учебник для ВУЗов.* - М.- Л., Госэнергиздат, 1956.
- [12] Гельперин Н.И., *Основные процессы и аппараты химической технологии.* - М., Химия, 1981, 384 с.
- [13] Сиов Б.Н., *Истечение жидкости через насадки.* - М., Машиностроение, 1968.
- [14] *Истечение через малые отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре.* - <http://gidravlnarod.ru/istechenie.html>.
- [15] *Истечение жидкости из отверстий и насадков.* - <http://abc.vvsu.ru/Books/gidravlup/page0008.asp>
- [16] *Физические свойства воздуха.* Википедия. - <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%85>.
- [17] *Закон Генри- Дальтона.* Википедия. - <http://ru.wikipedia.org/wiki/%BD%D0%B0>.
- [18] *Растворимость некоторых газов в воде при нормальных условиях.* - [http://www.chemport.ru/data/data\\_15\\_shtml](http://www.chemport.ru/data/data_15_shtml).
- [19] *Растворимость воздуха в воде. Деаэрация. Закон Генри. Коэффициенты Генри для воздуха.* - <http://www.drva.info/Guide/GuideMedias/GuideAir/AirSolubilityInWater/>.
- [20] *Закон Бойля-Мариотта.* - <http://elementy.ru/trefil/15>.
- [21] Ратбиль Е. Э., *Закон Бойля-Мариотта.* - М.: Дрофа, 2010.
- [22] *Перерегулирование.* - <http://ait.cs.nstu.ru/tau/book/Sod523.htm>