УДК 631.173: 66.063.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-96-107

РЕАКТОР-СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ В УСЛОВИЯХ АПК

[1]***Петрашев Александр Иванович***
[1]***Клепиков Виктор Валерьевич***
[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»*

Реферат. *Известно, что для эффективной защиты от коррозии аграрной техники необходимы доступные и качественные консервационные составы. Для их производства в условиях агропромышленного комплекса разрабатывается малогабаритный реактор-смеситель. Он предназначен для выполнения функций нагрева и смешивания термопластичных и тугоплавких компонентов с высококипящими растворителями. Обоснована функциональная схема реактора-смесителя с обогреваемым резервуаром, имеющим масляную рубашку для теплоносителя и рамную мешалку с нижним приводом через обсадную трубу. Получено уравнение затрат мощности на привод рамной мешалки при перемешивании твердых и жидких компонентов. Доказана возможность рекуперации остаточной теплоты, накопленной в теплоносителе и резервуаре после окончания цикла приготовления консервационного состава. Расчеты показали, что благодаря быстрой загрузке реактора-смесителя новой порции компонентов рекуперация остаточной теплоты может дать экономию до 37 % потребляемой энергии. Разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец реактора-смесителя. В процессе экспериментальных исследований оптимизирован техпроцесс приготовления ингибированного битумного состава МЭБ-4 за счет рекуперации остаточной теплоты, дифференцированной загрузки, нагрева и перемешивания компонентов в реакторе-смесителе. В результате длительность процесса приготовления составов снизилась с 4-х до 2-х часов, а энергоемкость – в 1,7 раза.*

Ключевые слова: *консервационный состав, рамная мешалка, мощность привода, рекуперация теплоты, дифференцированная загрузка.*

REACTOR-MIXER FOR PRODUCTIONPROTECTIVE COMPOSITIONS IN THE CONDITIONS OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX

[1]***Petrashev Alexandr***
[1]***Klepikov Viktor***
[1]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"*

Abstract. *It is known that affordable and high-quality preservatives are necessary for effective corrosion protection of agricultural machinery. A small-sized reactor-mixer is being developed for their production in the conditions of the agro-industrial complex. It is designed to perform the functions of heating and mixing thermoplastic and refractory components with high boiling solvents. The functional diagram of the reactor-mixer with a heated tank having an oil jacket for the coolant and a frame mixer with a bottom drive through a casing is substantiated. The equation of power consumption for the drive of a frame mixer with mixing of solid and liquid components is obtained. The possibility of recuperating the residual heat accumulated in the coolant and the reservoir after the end of the preparation cycle of the conservation composition has been proven. Calculations have shown that the recovery of residual heat can save up to 37% of the consumed energy, due to the fast loading of the reactor-mixer with a new portion of the components. Design documentation has been developed and an experimental sample of the reactor-mixer has been manufactured. The technological process of preparing the inhibited bitumen composition MEA-4 due to the recuperation of residual heat, differential loading, heating and mixing of the components in the mixing reactor was optimized in the process of experimental research. The duration of the preparation process of the formulations decreased from 4 to 2 hours, and the energy intensity - 1.7 times as a result.*

Keywords: *conservation composition, frame mixer, drive power, heat recovery, differentiated loading.*

Введение. Каждое сельхозпредприятие или фермерское хозяйство имеет машинно-тракторный парк, структуру и загрузку которого определяет специфика возделываемых сельскохозяйственных культур [1]. Интенсивное использование техники по назначению приходится на весенне-летне-осенний сезон, при этом многие машины работают всего 1 – 2 месяца в году. Для того чтобы поддерживать высокую готовность таких машин к работе, их необходимо не только заблаговременно ремонтировать, но и защищать от коррозии на период технологического простоя. В связи с тем, что специалисты хозяйств для защиты техники широко используют недостаточно эффективные, но более дешевые консервационные составы кустарного приготовления [2], актуальна разработка технических средств для малотоннажного производства составов более высокого качества [3].

Участкам для малотоннажного производства консервационных составов, организуемым на предприятиях АПК, необходим малогабаритный и надежный в работе реактор-смеситель [4]. В реактор-смеситель, содержащий резервуар и мешалку, в соответствии с рецептурой консервационного состава могут загружаться жидкие, термопластичные и тугоплавкие компоненты. Для того чтобы получить однородный консервационный состав, эти компоненты необходимо перевести в жидкое состояние и тщательно перемешать [5, 6]. Разжижить термопластичный компонент, например, кубовые амины (КА) можно нагревом, а тугоплавкий компонент битум, необходимо греть и длительно перемешивать вместе с высококипящим растворителем [7]. В качестве высококипящего растворителя подходит уайт-спирит (температура начала кипения – 150 ^{o}C) или дизельное топливо (температура выкипания 180-360 ^{o}C).

Затраты мощности на привод перемешивающего устройства. На длительность смешивания компонентов, в основном, влияют диаметры резервуара – D и лопастей мешалки – d, частота вращения лопастей – $n_м$. В работе [8] предложена формула для определения длительности $t_п$ смешивания:

$$t_п = \frac{k_м}{n_м}\left(\frac{D}{d}\right)^2, \quad (1)$$

где $k_м$ - коэффициент, учитывающий тип мешалки.

Как видно из формулы, увеличение частоты вращения $n_м$ лопастей мешалки снижает длительность процесса смешивания. При этом возрастают затраты мощности N на ее привод [9]:

$$N = K_м n_м^2 d^3 \eta, \quad (2)$$

где $K_м$ – коэффициент, постоянный для данной мешалки; η – динамическая вязкость разжиженных компонентов.

Из формулы (2) определим частоту вращения лопастей мешалки:

$$n_м = \left(\frac{N}{K_м d^3 \eta}\right)^{0,5}.$$

Подставим полученное выражение в формулу (1), и, сократив избыточные величины, выявим тенденцию влияния динамической вязкости η разжиженных компонентов и мощности N привода мешалки на длительность $t_п$ процесса смешивания:

$$t_п \sim \left(\frac{\eta}{N}\right)^{0,5}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что благодаря нагреву и снижению вязкости смеси можно уменьшить затраты мощности на привод мешалки, не повлияв на длительность процесса смешивания.

Затраты мощности на привод мешалки зависят не только от вязкости и частоты вращения, но и от типа ее конструкции, параметров лопастей и резервуара, наличия перегородок и отбойных устройств [10]. Так как процесс перемешивания компонентов консервационных составов протекает достаточно длительно, сопровождаясь их плавлением и растворением, то реактор-смеситель уместно оснастить тихоходной рамной мешалкой усиленной конструкции. Рамными мешалками перемешивают вязкие компоненты и интенсифицируют теплоперенос в перемешиваемой среде при нагреве [11].

На рисунке 1 показана расчетная схема рамной мешалки, состоящей из резервуара, приводного вала с тремя парами горизонтальных лопастей и двумя вертикальными лопастями. На схеме: h – ширина лопасти; R – длина горизонтальной лопасти (радиус мешалки); L – длина вертикальной лопасти, δ – зазор между резервуаром и лопастями; r – расстояние от оси до элементарного кольца; dr – ширина элементарного кольца.

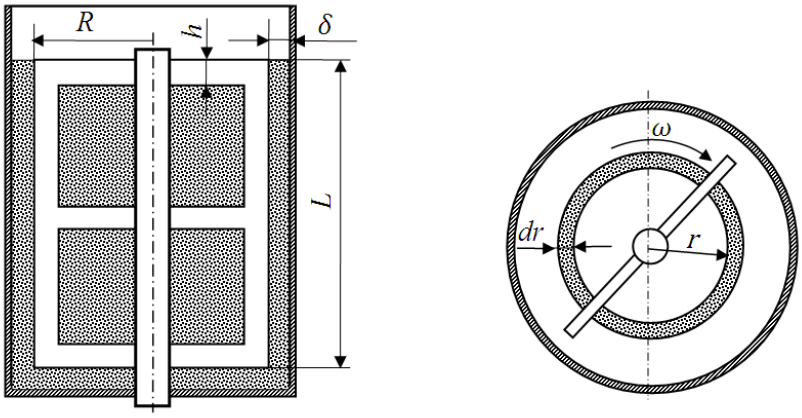

Рисунок 1 – Расчетная схема рамной мешалки

Расчет мощности на привод рамной мешалки проведем для условия наибольшей нагрузки, которая возникает в начале работы, когда мешалка начинает вращать массу не расплавленных и не растворенных компонентов. Они трутся о корпус резервуара, нагружая мешалку. Для получения расчетной формулы определим момент M сил трения, действующих на лопасти мешалки со стороны корпуса резервуара:

$$M = M_1 + M_2, \tag{4}$$

где M_1 и M_2 – моменты сил трения со стороны стенки и дна резервуара.

Рассмотрим случай, когда уровень загрузки резервуара равен высоте вертикальной лопасти, а весь объем компонентов первоначально вращается как монолит. При этом частота вращения монолита равна частоте n (об/мин) вращения лопастей.

Момент от силы трения перемешиваемой среды о стенку резервуара, воспринимаемый вертикальными лопастями мешалки:

$$M_1 = F_1 \cdot R, \tag{5}$$

где F_1 – сила трения перемешиваемой среды о стенку резервуара, Н.

Силу трения перемешиваемой среды о стенку резервуара определим по формуле [12]:

$$F_1 = \eta \frac{u \cdot S}{\delta} = 2\pi R^2 \frac{L}{\delta} \omega\eta, \tag{6}$$

где η – динамическая вязкость перемешиваемой среды, Па·с; ω - угловая скорость вращения мешалки, $\omega = 2\pi n/60$, $с^{-1}$; u – линейная скорость у конца лопасти, $u = \omega R$, м/с; S – площадь трения перемешиваемой среды о стенку резервуара, $S \approx 2\pi RL$, $м^2$.

Подставив выражение (6) в (5), получим момент:

$$M_1 = 2\pi R^3 \frac{L}{\delta} \omega\eta. \tag{7}$$

Для того чтобы определить момент от силы трения перемешиваемой среды по дну резервуара, выделим на расстоянии r от оси мешалки элементарное кольцо шириной dr. Площадь элементарного кольца:

$$dS = 2\pi r \cdot dr.$$

Элементарный момент dM_2 от силы трения перемешиваемой среды по дну резервуара, воспринимаемый нижней лопастью мешалки на элементарном кольце:

$$dM_2 = dF_2 \cdot r, \tag{8}$$

где dF_2 – сила трения перемешиваемой среды в пределах элементарного кольца.

Сила трения перемешиваемой среды, воздействующая на нижние лопасти со стороны элементарного кольца, определяется по аналогии с формулой (6):

$$dF_1 = 2\pi \frac{r^2 dr}{\delta} \omega\eta. \tag{9}$$

Подставив выражение (9) в (8), получим элементарный момент:

$$dM_2 = 2\pi \frac{r^3 dr}{\delta} \omega\eta. \quad (10)$$

Для определения момента M_2 от силы трения по всей площади дна, проинтегрируем выражение (10) в интервале от 0 до R:

$$M_2 = \int_0^{M_2} dM_2 = \frac{2\pi\omega\eta}{\delta} \int_0^R r^3 dr = \omega\eta \frac{\pi R^4}{2\delta}. \quad (11)$$

Суммируя моменты M_1 и M_2 по формуле (4), получим момент M сил вязкого трения, действующий на лопасти вращающейся мешалки со стороны стенки и дна резервуара:

$$M = \omega\eta\pi R^3 \frac{(4L + R)}{2\delta}.$$

Мощность N привода, необходимая для вращения рамной мешалки в начале работы:

$$N = M\omega = \omega^2\eta\pi R^3 \frac{(4L + R)}{2\delta}. \quad (12)$$

В работе [13] предложено обобщенное уравнение мощности для ламинарного режима перемешивания, который характерен для перемешивания вязких сред:

$$N_{\text{лам}} = C\eta\omega^2 R^3. \quad (13)$$

где C – безразмерный коэффициент, учитывающий геометрические соотношения размеров корпуса аппарата и перемешивающего устройства.

Значение коэффициента С зависит от типа и конструкции аппарата. Обобщенное уравнение (13) идентично уравнению (2) и согласуется с нашим частным уравнением (12) для реактора-смесителя с рамной мешалкой, в котором безразмерный коэффициент C равен:

$$C = \pi \frac{(4L + R)}{2\delta}.$$

При разработке реактора-смесителя для участка по малотоннажному производству консервационного состава приняты следующие конструкционные параметры: вместимость резервуара 65 л; длина горизонтальной лопасти рамной мешалки R = 0,22 м; длина вертикальной лопасти $L_л$ = 0,4 м; зазор δ = 0,004 м; частота вращения мешалки n = 20 об/мин (ω = 2,1 $с^{-1}$). Вязкость перемешиваемых компонентов η = 8 Па·с соответствует особо вязким средам, перемешиваемым рамными и якорными мешалками [11].

Устройство и принцип действия реактора-смесителя с нижним приводом мешалки. Расчет по формуле (12) дает величину затрат мощности N = 270 Вт на привод рамной мешалки реактора-смесителя. ГОСТ 20680-75 [14] на «Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные» рекомендует мешалки в аппаратах объемом 0,063 $м^3$ оснащать приводом мощностью от 0,75 до 1,5 кВт. Привод предлагается размещать вверху, на крышке.

Верхнее размещение привода сопряжено с дополнительными металлозатратами на усиление корпуса и крышки аппарата, с ограничением пространства для заправки смесителя компонентами, контроля и обслуживания, особенно, на резервуарах небольшой вместимости [15]. Проведенный анализ известных технических решений привода мешалок позволил выбрать вариант с нижним размещением привода и передачей вращения в трубе, прикрепленной к дну аппарата [16]. При этом верхний срез трубы находится выше уровня заправки резервуара, что исключает утечки компонентов вдоль приводного вала. Функциональная схема реактора-смесителя с нижним размещением привода показана на рисунке 2.

Основные узлы реактора-смесителя: корпус, мешалка и привод. Мешалка содержит осевую трубу 8, к которой присоединены три пары горизонтальных лопастей 7. С ними связаны две вертикальные лопасти 6, размещенные вблизи стенки реактора-смесителя. Благодаря распоркам 13, соединяющим концы горизонтальных лопастей 7 с осевой трубой 8, конструкция мешалки существенно усилена. Корпус реактора-смесителя состоит из внутреннего 11 и внешнего 10 резервуаров разного диаметра, установленных друг в друга и сваренных вверху. Между резервуарами имеется зазор по бокам и снизу, образующий масляную рубашку для теплоносителя. На дне внутреннего резервуара закреплены две отбойные пластины 12, предназначенные для обдирания размягченных слоев с кусков компонентов в процессе вращения мешалки.

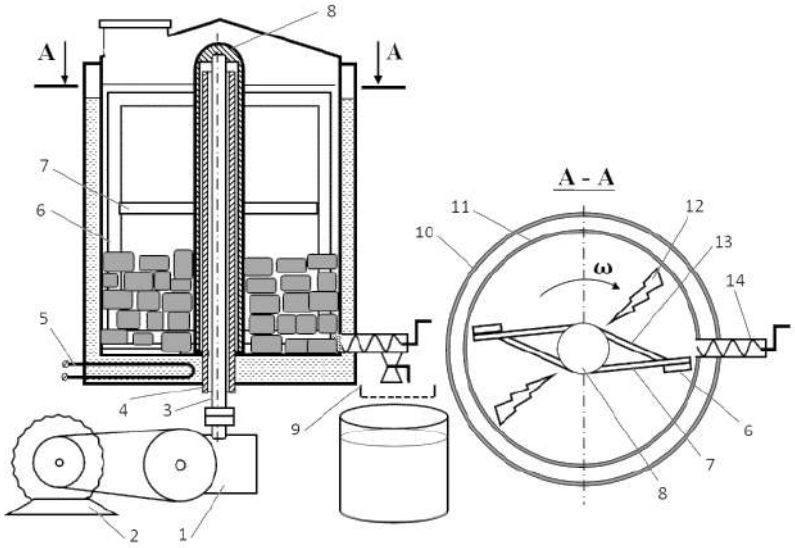

Рисунок 2 – Функциональная схема реактора-смесителя
для приготовления консервационного состава

По центру резервуаров, в их доньях, выполнены отверстия, соосные друг другу. Сквозь отверстия пропущена обсадная труба 4, которая сварена с доньями резервуаров. Верхний конец обсадной трубы 4 поднят над уровнем максимальной загрузки внутреннего резервуара 11. Обсадная труба 4 предотвращает утечки теплоносителя из рубашки и состава из резервуара 11 в процессе нагрева и перемешивания компонентов. Внутри обсадной трубы 4 проходит приводной вал 3, который в нижней части посредством муфты соединен с выходным валом червячного редуктора 1, а в верхней части – с осевой трубой 8 мешалки. Привод изготовлен из червячного редуктора 1 и электродвигателя 2, соединенных клиноременной передачей.

Масляная рубашка оснащена ТЭН 5 для нагрева теплоносителя – моторного масла. Патрубок 14 для слива приготовленного состава проходит сквозь масляную рубашку, оснащен краном и спиральным побудителем с рукоятью. Для приготовления консервационного состава в резервуар загружают требуемое количество твердых и жидких компонентов, включают ТЭН и мешалку. Управление работой ТЭН ведется с помощью автоматизированной системой нагрева. При достижении максимально заданной температуры ТЭН отключается, при понижении до минимально заданной температуры – включается.

Ввиду того что загруженные в резервуар твердые компоненты тяжелее растворителя, их куски находятся в придонном слое. Вращение рамной мешалки приводит к тому, что они увлекаются горизонтальными лопастями и начинают скользить по дну резервуара, соприкасаясь с отбойными пластинами. При таком соприкосновении с кусков сдирается размягченный слой компонента, который активнее вовлекается в процесс растворения.

Греют и перемешивают компоненты до получения консервационного состава, однородного по консистенции. Для слива готового состава из внутреннего резервуара, открывают кран, при необходимости вращают спиральный побудитель. Спиральный побудитель служит для извлечения из резервуара и патрубка нерастворенных включений (бумаги, кусков упаковки) в процессе слива готового состава. При этом состав вместе с нерастворенными включениями проходит по патрубку, через открытый кран вытекает на решетку 9, которая отфильтровывает нерастворенные включения. Пройдя сквозь решетку, состав поступает в приемную тару.

По завершении производственного цикла приготовления состава в реакторе-смесителе остается нагретый теплоноситель, теплоту которого необходимо полезно рекуперировать. Оценим, предварительно, возможную экономию энергии от рекуперации теплоты.

Рекуперация теплоты при использовании реактора-смесителя с масляной рубашкой. Определим затраты энергии на нагрев компонентов. Процесс нагрева компонентов состоит из 2-х

этапов: этапа разогрева и этапа подогрева. На этапе разогрева от ТЭН разогревается теплоноситель в масляной рубашке, внутренний и внешний резервуары. От стенок и дна внутреннего резервуара разогреваются загруженные компоненты. На этапе разогрева количество произведенной тепловой энергии зависит от мощности ТЭН и длительности его работы:

$$Q_р = N_{ТЭН} t_р, \quad (13)$$

где $Q_р$ – тепловая энергия, произведенная на этапе разогрева, Дж; $N_{ТЭН}$ – мощность ТЭН, Вт; $t_р$ – длительность работы ТЭН, с.

Произведенная энергия $Q_р$ затрачивается на нагрев теплопотребителей: теплоносителя, корпуса реактора-смесителя и компонентов:

$$Q_р = m_т c_т (T_т - T_о) + m_р c_р (T_р - T_о) + m_к c_к (T_к - T_о) + \Delta Q_р, \quad (14)$$

где $T_о$ – начальная температура теплопотребителей, °С; $m_т$, $c_т$ и $T_т$ – масса (кг), теплоемкость (Дж/кг·°С) и температура (°С) теплоносителя; $m_р$, $c_р$ и $T_р$ – масса, теплоемкость и температура разогрева корпуса реактора-смесителя; $m_к$, $c_к$ и $T_к$ - масса, теплоемкость и температура разогрева компонентов; $\Delta Q_р$ – потери тепловой энергии на этапе разогрева, Дж.

На этапе подогрева энергия $Q_п$, произведенная ТЭН, уходит на компенсацию тепловых потерь и поддержание температуры перемешиваемых компонентов. Затраты энергии зависят от длительности $\sum t_з$ включения ТЭН:

$$Q_з = N_э \sum t_з.$$

Слив приготовленного состава необходимо осуществлять в горячем (жидком) состоянии для более быстрого фильтрования. После проведения этого процесса нагретый теплоноситель и корпус реактора-смесителя содержат остаточную тепловую энергию $Q_{ос}$. При этом температура теплоносителя и корпуса реактора-смесителя выровняются до температуры $T_в$.

Определим остаточную тепловую энергию в реакторе-смесителе:

$$Q_{о.т} = (m_т c_т + m_р c_р)(T_в - T_о). \quad (15)$$

Для рекуперации остаточной тепловой энергии, освободившийся резервуар реактора-смесителя необходимо без промедления загрузить новой порцией компонентов. Эта порция получит часть остаточной теплоты и нагреется до температуры $T_п$, а теплоноситель и корпус реактора-смесителя охладятся до этой же температуры $T_п$.

Следовательно, остаточная тепловая энергия $Q_{о.т}$ распределится между теплоносителем, корпусом и компонентами:

$$Q_{о.т} = (m_т c_т + m_р c_р + m_к c_к)(T_п - T_о). \quad (16)$$

Температуру $T_п$ нагрева компонентов остаточной теплотой можно определить из условия равенства уравнений (15) и (16):

$$T_п = \frac{(m_т c_т + m_р c_р) T_в + m_к c_к T_о}{m_т c_т + m_р c_р + m_к c_к}. \quad (18)$$

В качестве теплоносителя для реактора-смесителя можно использовать моторное масло с удельной теплоемкостью 1950 Дж/(кг·°С). Удельная теплоемкость твердых и жидких компонентов, являющихся продуктами нефтепереработки, примерно, такая же – 1700-2100 Дж/(кг·°С) [17], в среднем $c_т = c_к$ = 1900 Дж/(кг·°С). Выражая теплоемкость стального корпуса реактора-смесителя ($c_р$ = 460 Дж/(кг·°С)) через теплоемкость компонентов, получим, что $c_р = 0{,}24 c_к$.

Для массы компонентов ($m_к$) вдвое большей массы теплоносителя ($m_т$) и равной массе корпуса ($m_р$), массы теплоносителя и корпуса выразим через массу компонентов: $m_р = m_к$, $m_т = 0{,}5 m_к$. Принятые относительные значения масс и теплоемкостей введем в формулу (18):

$$T_к = \frac{(0{,}5 m_к c_к + m_к 0{,}24 c_к) T_в + m_к c_к T_о}{0{,}5 m_к c_к + m_к 0{,}24 c_к + m_к c_к} = \frac{0{,}74 T_в + T_о}{1{,}74} = 0{,}43 T_в + 0{,}57 T_о. \quad (19)$$

Рассмотрим вариант, когда температуры $T_о$ = 15 °С и $T_в$ = 90 °С, тогда температура нагрева компонентов $T_к$ = 47 °С. При $T_о$ = 15 °С и $T_в$ = 80 °С температура нагрева составит $T_к$ = 43 °С. Согласно расчетам, если остаточная температура теплоносителя и реактора-смесителя находится в диапазоне 80-90 °С вновь загруженные компоненты могут быть нагреты от 15 до 43-47 °С (на 28 – 32 °С).

Как видим, при использовании реактора-смесителя без рекуперации остаточной теплоты, компоненты придется разогревать от 15 °С до 100 °С, а величина интервала повышения

температуры составит 85 °С. В случае разогрева компонентов с использованием остаточной тепловой энергии, т.е. от 43-47 °С до 100 °С, величина температурного интервала будет ниже: 53-57 °С. Так как затраты тепловой энергии пропорциональны величине температурного интервала, то разогрев компонентов с рекуперацией остаточной теплоты может дать экономию до 37 % энергии, потребляемой на начальном этапе разогрева компонентов [18].

Результаты экспериментального исследования работы реактора-смесителя при малотоннажном производстве ингибированного битумного состава. Согласно функциональной схемой (см. рисунок 2), разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец реактора-смесителя. Экспериментальные исследования реактора-смесителя проведены на участке по малотоннажному производству консервационных составов, развернутом на экспериментальной базе ФГБНУ ВНИИТиН. В процессе исследований отрабатывалась технология производства ингибированного битумного состава *МЭБ-4*, содержащего битум в качестве связующего, мазут М100 (для повышения атмосферостойкости покрытия), кубовые амины (для ингибирования коррозии) и уайт-спирит (растворитель). Покрытия из ингибированного битумного состава *МЭБ-4* показали высокую атмосферостойкость и надежно защищали от коррозии стальные детали в течение 12 месяцев [7].

Экспериментальный образец реактора-смесителя показан на рисунке 3.

1 – основание; 2 – ременная передача; 3 – резервуар для теплоносителя; 4 – резервуар для компонентов; 5 – загрузочная горловина; 6 – пульт управления; 7 – сливной патрубок; 8 – раздаточный кран; 9 – приемная тара; 10 – верхняя лопасть мешалки; 11 – осевая труба

Рисунок 3 – Экспериментальный образец реактора-смесителя

Реактор-смеситель включает резервуар 3 для теплоносителя, внутри которого находится резервуар 4 для компонентов, закрытый крышкой с загрузочной горловиной 5. К дну резервуара 4 приварены 2 отбойные пластины. Внешняя стенка резервуара 3 тепло изолирована и закрыта кожухом. Полости между резервуарами 3 и 4 заполнены моторным маслом в качестве теплоносителя, внизу установлен нагреватель из двух ТЭН номинальной мощностью 5,0 кВт. Температурный режим теплоносителя контролируется посредством датчика терморегулирующего устройства, связанного с пультом 6 автоматизированного управления. Сквозь донья обоих

резервуаров проходит обсадная труба, в которой установлен приводной вал. Вал опирается на два подшипника: вверху – на подшипник скольжения в обсадной трубе, внизу – на конический подшипник в подшипниковом узле под дном резервуара 3. Оба подшипника заполнены термостойкой смазкой.

Рамная мешалка имеет усиленные горизонтальные лопасти 10, прикрепленные к осевой трубе 11. Осевая труба 11 с зазором 5 мм надета на обсадную трубу и соединена с верхним концом приводного вала. Внизу в основании реактора-смесителя 1 размещен привод рамной мешалки. С помощью ременной передачи 2 вращение передается от электродвигателя (2,2 кВт, 1450 об/мин) на червячный редуктор (передаточное число – 63) и далее на приводной вал.

Слив приготовленного состава из резервуара осуществляется посредством крана 8 и патрубка 7 со спиральным побудителем. Общая вместимость резервуара– 80 л, рабочая – 60-65 л. Объем заправки теплоносителя – 30 л.

Исследована зависимость потребляемой мощности от частоты вращения рамной мешалки. Частоту вращения изменяли путем установки на электродвигателе ведущего шкива большего диаметра. Опыты показали, что при частоте вращения мешалки n_1 = 20 об/мин электродвигателем потреблялась мощность 340 Вт. Увеличение частоты вращения до 30 об/мин (в 1,5 раза) привело к повышению мощности привода до 550 Вт (в 1,62 раза). Так как во втором опыте электродвигатель привода имел 4-х кратный запас по мощности, решено дальнейшее исследование технологии приготовления ингибированного битумного состава проводить при вращении мешалки с 30 об/мин.

В технологии малотоннажного производства ингибированного битумного состава, включающей резку компонентов на куски гидравлическим ножом, их нагрев, перемешивание и растворение в реакторе-смесителе, работа реактора-смесителя является более энергозатратной, чем гидравлического ножа. Поэтому актуально исследование влияния последовательности введения компонентов в реактор-смеситель на длительность процесса приготовления ингибированного битумного состава *МЭБ-4* и сопутствующее энергопотребление. Исследование проводили при температуре воздуха 18 °С в 2 этапа.

На этапе I резервуар реактора-смесителя одномоментно загружали порциями битума, кубовых аминов, мазута М100, уайт-спирита; всего – 60 кг (64 л). На терморегуляторе устанавливали температурный диапазон нагрева теплоносителя – 125-135 °С, включали нагреватель и мешалку.

Мешалка работала непрерывно до полной готовности битумного состава, мощность на ее привод составила 0,6-0,45 кВт. Нагреватели отключались при нагреве теплоносителя до 135 °С и включались при снижении температуры до 125°С. На рисунке 4 отражена динамика нагрева теплоносителя и смеси компонентов. Теплоноситель достиг максимальной температуры в течение 115 мин, за это же время компоненты нагрелись до 100 °С и началось выкипание водной примеси из мазута. По истечение 180 мин температура смеси стабилизировалась на 106 °С.

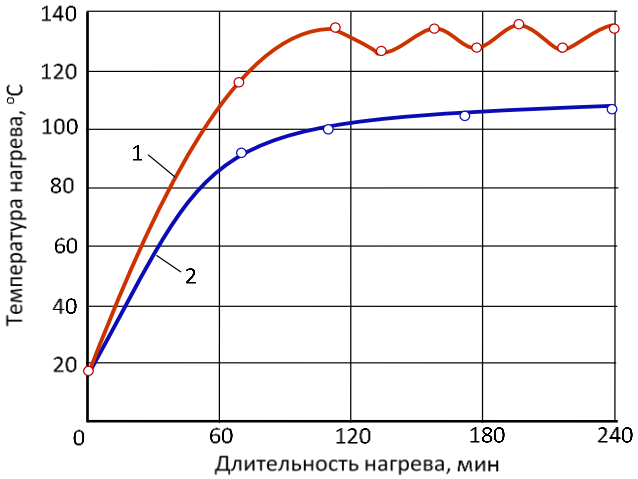

Рисунок 4 – Динамика нагрева теплоносителя (1) и компонентов (2) в реакторе-смесителе

Наблюдениями установлено, что куски кубовых аминов за 60 мин полностью смешались с уайт-спиритом и жидким мазутом. Длительность перемешивания кусков битума с раствором уайт-спирита, мазута и кубовых аминов составила 225 мин. Затем готовый битумный состав сливали через фильтрующую решетку в течение 15 мин, не выключая мешалку.

Длительность приготовления ингибированного битумного состава – 240 мин. Расход электроэнергии: привод мешалки – 2 кВт·ч/цикл; нагреватель – 12,5 кВт·ч/цикл; всего – 14,5 кВт·ч. Энергоемкость процесса приготовления 60 кг состава на этапе I – 0,24 кВт·ч/кг (0,22 кВт·ч/л).

На этапе II ввод компонентов в процесс их нагрева и смешивания осуществляли дифференцированно. После слива битумного состава, приготовленного на этапе I, в резервуар реактора-смесителя загрузили сначала порции битума и уайт-спирита, оставив их там для набухания на 90 мин без нагрева и перемешивания. За это время температура компонентов повысилась на 16 ^{0}C (от 18 до 44 ^{o}C). Чтобы не допустить интенсивное выкипание водной примеси из мазута, снизили температуру нагрева теплоносителя на 10 ^{o}C (до 115-125 °C). За 75 мин работы нагревателя и мешалки битум полностью растворился в дизельном топливе. После включения нагревателя и мешалки, смесь компонентов нагрелась до 100 ^{o}C в течение 42 мин.

Далее в реакторе-смесителе в раствор битума добавили кубовые амины и мазут М100, их вместе грели и смешивали 30 мин. После отключения нагрева и перемешивания взяли пробы битумного состава с верхнего и нижнего уровней резервуара. Определили плотность состава в пробах с помощью денсиметра: вверху – 0,932 кг/л, внизу - 0,935 кг/л.

Эти данные (плотность ρ (кг/л)) использовали для определения содержания уайт-спирита (C, %) в пробах:

$$C = (0{,}9909 - \rho)/0{,}0019.$$

Обнаружено превышение содержания уайт-спирита в верхней пробе (31 %) над нижней (29,4 %) на 1,6 %. Ввиду несущественной разницы плотностей, процесс приготовления состава считается завершенным. Состав сливали через фильтрующую решетку в приемную емкость, а затем разливали по канистрам, объемом 20 л, для реализации потребителям.

На этапе II расход электроэнергии: на мешалку – 1,1 кВт·ч/цикл; на нагрев – 7,2 кВт·ч/цикл; суммарно – 8,3 кВт·ч/цикл. Энергоемкость процесса приготовления 60 кг ингибированного битумного состава на этапе II – 0,14 кВт·ч/кг, что в 1,7 раза ниже, чем на этапе I.

По результатам проведенного исследования предложена схема технологического процесса малотоннажного производства ингибированного битумного состава *МЭБ-4* с дифференцированной загрузкой реактора-смесителя (рисунок 5).

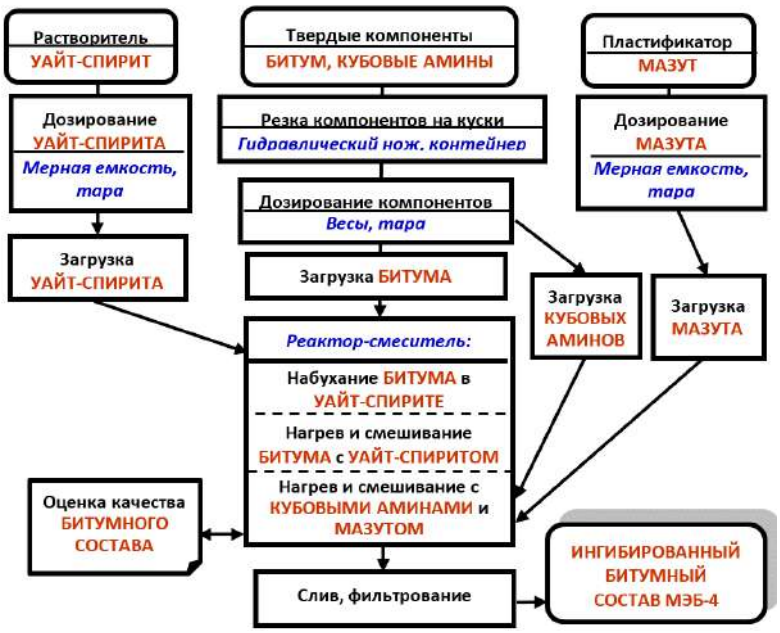

Рисунок 5 – Схема техпроцесса малотоннажного производства битумного состава МЭБ-4

Приготовленный ингибированный битумный состав *МЭБ-4* поставляется хозяйствам Тамбовской области для консервации сельскохозяйственной техники.

Выводы.

1. Для участков по малотоннажному производству консервационных составов в условиях АПК необходим малогабаритный реактор-смеситель с функциями нагрева и длительного перемешивания термопластичных и тугоплавких компонентов. Показано, что уменьшение динамической вязкости перемешиваемых компонентов за счет нагрева способствует снижению времени приготовления консервационных составов.

2. Обоснована функциональная схема реактора-смесителя, оснащенного обогреваемым резервуаром с масляной рубашкой для теплоносителя и рамной мешалкой с нижним приводом через обсадную трубу. Получено уравнение для расчета мощности на привод рамной мешалки при перемешивании твердых и жидких компонентов.

3. Доказана возможность рекуперации остаточной теплоты, накопленной в теплоносителе и металлоконструкции резервуара, по окончании цикла приготовления консервационного состава. Расчеты показали, что благодаря незамедлительной загрузке реактора-смесителя новой порции компонентов рекуперация остаточной теплоты может дать экономию до 37 % энергии, потребляемой на начальном этапе разогрева компонентов.

4. Разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец реактора-смесителя. В процессе экспериментальных исследований оптимизирован техпроцесс приготовления ингибированного битумного состава *МЭБ-4* за счет рекуперации остаточной теплоты, дифференцированной загрузки, нагрева и перемешивания компонентов в реакторе-смесителе. В результате длительность процесса приготовления составов снизилась с 4-х до 2-х часов, а энергоемкость – в 1,7 раза.

Список литературы

1. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Ретроспективный анализ оснащенности фермерских хозяйств машинами и механизмами // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2015. № 2. – С. 91-112.

2. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях // Технология металлов. 2000. № 8. – С. 14-20.

3. Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В. Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. № 2. – С. 61-65.

4. Петрашев А.И. Приготовление консервационных материалов на малогабаритном оборудовании // Техника в сельском хозяйстве. 1999. № 3. – С. 5-8.

5. Петрашев А.И., Клепиков В.В., Таха Ф.Д. Изменение плотности при нагреве и плавлении компонентов консервационных материалов // Наука в центральной России. 2015. № 2 (14). – С. 34-43.

6. Смеситель для консервационной смазки / Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В., Таха Ф.Д. / Патент на изобретение RU 2601001 C1, 27.10.2016. Заявка № 2015144399/05 от 15.10.2015.

7. Таха Ф.Д., Петрашев А.И., Кузнецова Е.Г. Твердо-пленочные битумные составы для защиты сельхозмашин от коррозии // Наука в центральной России. 2016. № 2 (20). – С. 50-58

8. Карпушкин, С.В. Краснянский М.Н., Борисенко А.Б. Расчёты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамбовского ГТУ, 2009. – 168 с.

9. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.

10. Брагинский Л.Н., Бегачёв В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

11. Бакланов Н.А. Перемешивание жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 64 с.

12. Савельев И.В. Курс общей физики, том I. – М.: Наука, 1973. – 511с.

13. Дахин О.Х. Машины и аппараты для перемешивания сыпучих, жидких и высоковязких сред: учебное пособие. – Волгоград: Изд-во Волгоградского ГТУ, 2014. – 232 с.

14. ГОСТ 20680-75. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные. Типы и основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 25 с.

15. Петрашев А.И. Условия применения технических средств при консервации сельхозмашин // Техника в сельском хозяйстве. 2003. № 1. – С. 27-29.

16. Альбом оборудования окрасочных цехов / Борисенко С.И., Майзель Б.К., Окунь Б.Ц. и др. М.: Химия, 1975. – 320 с.

17. Удельная теплоемкость веществ при 20°С. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.xiron.ru/content/view/30534/137/ Дата обращения: 24.03.2021.

18. Таха Ф.Ж.Т. Совершенствование оборудования и технологии консервации сельскохозяйственной техники ингибированными битумными составами: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Мичуринский государственный аграрный университет / Таха Фирас Жумаа Таха. – Тамбов, 2017. – 183 с.

References

1. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Retrospektivnyj analiz osnashchennosti fermerskih hozyajstv mashinami i mekhanizmami // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. 2015. № 2. – S.91-112.

2. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I Praktika zashchity ot korrozii sel'skohozyajstvennoj tekhniki v sovremennyh usloviyah // Tekhnologiya metallov. 2000. № 8. – S. 14-20.

3. Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V. Tekhnologicheskie resheniya po konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki otrabotannymi motornymi maslami // Trudy GOSNITI. 2013. T. 112. № 2. – S. 61-65.

4. Petrashev A.I. Prigotovlenie konservacionnyh materialov na malogabaritnom oborudovanii // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 1999. № 3. – S. 5-8.

5. Petrashev A.I., Klepikov V.V., Taha F.D. Izmenenie plotnosti pri nagreve i plavlenii komponentov konservacionnyh materialov // Nauka v central'noj Rossii. 2015. № 2 (14). – S. 34-43.

6. Smesitel' dlya konservacionnoj smazki / Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V., Taha F.D. / Patent na izobretenie RU 2601001 C1, 27.10.2016. Zayavka № 2015144399/05 ot 15.10.2015.

7. Taha F.D., Petrashev A.I., Kuznecova E.G. Tverdo-plenochnye bitumnye sostavy dlya zashchity sel'hozmashin ot korrozii // Nauka v central'noj Rossii. 2016. № 2 (20). – S. 50-58

8. Karpushkin, S.V. Krasnyanskij M.N., Borisenko A.B. Raschyoty i vybor mekhanicheskih peremeshivayushchih ustrojstv vertikal'nyh emkostnyh apparatov: uchebnoe posobie. – Tambov: Izd-vo Tambovskogo GTU, 2009. – 168 s.

9. Strenk F. Peremeshivanie i apparaty s meshalkami. Pol'sha, 1971. Per. s pol'sk. pod red. I.A. SHCHuplyaka. – L.: Himiya, 1975. – 384 s.

10. Braginskij L.N., Begachyov V.I., Barabash V.M. Peremeshivanie v zhidkih sredah. – L.: Himiya, 1984. – 336 s.

11. Baklanov N.A. Peremeshivanie zhidkostej. – M.: Himiya, 1979. – 64 s.

12. Savel'ev I.V. Kurs obshchej fiziki, tom I. – M.: Nauka, 1973. – 511s.

13. Dahin O.H. Mashiny i apparaty dlya peremeshivaniya sypuchih, zhidkih i vysokovyazkih sred: uchebnoe posobie. – Volgograd: Izd-vo VolgogGTU, 2014. – 232 s.

14.GOST 20680-75. Apparaty s mekhanicheskimi peremeshivayushchimi ustrojstvami vertikal'nye. Tipy i osnovnye parametry. – M.: Izd-vo standartov, 1987. – 25 s.

15. Petrashev A.I. Usloviya primeneniya tekhnicheskih sredstv pri konservacii sel'hozmashin // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2003. № 1. – S. 27-29.

16. Al'bom oborudovaniya okrasochnyh cekhov / Borisenko S.I., Majzel' B.K., Okun' B.C. i dr. M.: Himiya, 1975. – 320 s.

17. Udel'naya teploemkost' veshchestv pri 20°S. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.xiron.ru/content/view/30534/137/ Data obrashcheniya: 24.03.2021.

18. Taha F.ZH.T. Sovershenstvovanie oborudovaniya i tekhnologii konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki ingibirovannymi bitumnymi sostavami: diss. … kand. tekhn. nauk: 05.20.03 / Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet / Taha Firas ZHumaa Taha. – Tambov. 2017. – 183 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Петрашев Александр Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru

Клепиков Виктор Валерьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-

исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viktrikt@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Petrashev Alexandr – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru

Klepikov Viktor – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: viktrikt@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 07.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 31.05.2021

УДК 621.899:620.197
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-107-112

ЗАЩИТА ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

[1]Жерновников Дмитрий Николаевич
[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Князева Лариса Геннадиевна
[1,2]Остриков Валерий Васильевич
[1]Забродская Алла Владимировна

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2] ФГБОУ ВО « Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *Известно, что, после завершения полевых работ, зерноуборочные комбайны отправляют на длительное хранение на открытых или закрытых площадках. Одним из важных узлов, но наименее защищённых от действия коррозии является двигатель внутреннего сгорания. После завершения работ моторное масло из картера не сливается и не проводятся работы по защите основных его деталей от коррозионного воздействия, что влияет на срок службы техники и затраты на её эксплуатацию и ремонт. ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывает ресурсосберегающую технологию постановки данного вида техники на хранение, рассматривая возможность очистки моторного масла непосредственно во время работы двигателя и системы смазки под действием моноэтаноламина и изопропанола. Установлено, что внесение в картер двигателя комбайна смеси 2% моноэтаноламина и 2% изопропанола при температуре масла 70°C с последующими запуском и работой на холостом ходу позволяет удалить из масла все виды загрязнений, в том числе отложения из поддона картера и масляных каналов. Определено, что последующее добавление в очищенное в двигателе масло 6%-9 % ингибитора коррозии Cortec VpCl-369 позволяет увеличить вязкость масла, обеспечивая тем самым защитную плёнку на деталях двигателя. Экспериментальными исследованиями состава, нанесённого на стальные пластины с последующей обработкой в 3% растворе NaCl, показали на увеличение защитной эффективности очищенного масла, обогащённого ингибитором Cortec VpCl-369. По результатам предварительных исследований можно утверждать, что данный подход позволит увеличить срок службы дорогостоящей зерноуборочной техники и снизить затраты на её ремонт. Одновременно с решением задач защиты техники от коррозии, повышения надёжности работы ДВС решаются вопросы экономии средств на приобретение дорогостоящий консервационных материалов, снижения загрязнённость окружающей среды отработанными маслами. После осуществляется операция слива масла и замены его на моторное, а рабоче-консервационное масло может использоваться повторно.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, коррозия, защита при хранении, ингибитор коррозии, двигатель внутреннего сгорания.*