

9. Коновалов, В. В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В. В. Коновалов, В. В. Новиков, Д. Н. Азиаткин, А. С. Грецов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №3. – С. 72-78.

10. Коновалов, В. В. Моделирование подачи материала при разгрузке вертикального смесителя / В. В. Коновалов, А. С. Калиганов, М. В. Фомина, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : сб. науч. тр. – 2014. – №06 (22). – С. 67-74.

УДК 631.363

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЭФФЕКТА В РАБОЧЕМ ПРОЦЕССЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЭКСТРУДЕРА

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Шабурова Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: shaburovs@mail.ru

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440072, г. Пенза, ул. Антонова, 26.

E-mail: surr@bk.ru

Воронина Полина Константиновна, аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: worolina89@mail.ru

Ключевые слова: экструдат, растительное, сырье, влажность, термовакuumное, воздействие.

Цель исследований – теоретическое обоснование термовакuumного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере. Технологические процессы термопластической экструзии сырья растительного происхождения получили широкое применение при производстве готовых пищевых продуктов; зерновых экструдированных полупродуктов для использования в технологии кондитерских, хлебобулочных и мясных изделий; кормов для различных групп животных, птицы и рыб. Большинство этих экструдатов представляют собой продукты пористой макроструктуры, получаемые путем переработки сырья с высоким содержанием крахмалов. Получают такие экструдаты с помощью машин, оснащенных короткими неохлаждаемыми фильерами, при выходе из которых в обрабатываемом материале происходит резкий сброс давления, обуславливающий взрывное испарение воды и образование пористой макроструктуры. В процессе оценки интенсивности испарения влаги при получении экструдатов наибольшие трудности возникают при рассмотрении перехода жидкости в перегретое состояние и последующего за ним детонационного вскипания, под которым понимается лавинообразное образование центров кипения в объеме перегретой жидкости и ее быстрое испарение. Кроме взрывного испарения свободной воды влажность экструдата уменьшается за счет сушки путем конвективного массообмена. Опираясь на первый закон Фика, уравнения состояния идеального газа, а также на теорию подобия, в работе представлен расчет конвективного массообмена влаги в условиях получения экструдата при атмосферном давлении и при пониженном давлении воздуха в вакуумной камере модернизированного экструдера. При этом скорость испарения влаги с поверхности экструдатов при использовании вакуумной камеры возрастает примерно в 30 раз, что оправдывает ее применение с целью интенсификации образования пор в готовом продукте и его обезвоживании.

Технологические процессы термопластической экструзии сырья растительного происхождения получили широкое применение при производстве готовых пищевых продуктов; зерновых экструдированных полупродуктов для использования в технологии кондитерских, хлебобулочных и мясных изделий; кормов для различных групп животных, птицы и рыб. Большинство этих экструдатов представляют собой продукты пористой макроструктуры, получаемые путем переработки сырья с высоким содержанием крахмалов [1, 2, 3].

Для получения экструдатов с пористой макроструктурой используют экструдеры с короткими неохлаждаемыми фильерами, при выходе из которых обрабатываемого материала в нем происходит резкое падение давления и «взрывное» испарение воды. При этом интенсивность образования пор зависит не только от конструктивно-технологических параметров экструдера, но и от содержания крахмала в обрабатываемом сырье и его влажности.

Содержание воды в сырье предопределяет температуру его перехода в вязко-текучее состояние. Изменяя вязкость системы, вода воздействует на тепловой баланс экструдера, в котором теплота выделяется в результате трения при гомогенизации, пластификации, сдвиге и сжатию перемещаемого в процессе обработки материала. Влажность сырья оказывает существенное влияние на давление и температуру, при которых обрабатываемый материал выходит из фильеры матрицы экструдера. При этом жидкость играет роль летучего, перегретого компонента системы, который обеспечивает парообразование в ней при мгновенном сбросе давления, а также резкое охлаждение и отверждение (гелеобразование) получаемого продукта в процессе взрывного испарения воды [4, 5, 6].

Известен способ получения экструдатов, при котором перерабатываемое сырье из области высокого давления в тракте машины (2,0-2,7 МПа) поступает в вакуумную камеру экструдера с давлением 0,02-0,09 МПа. Конструктивно-технологическая схема экструдера с камерой для термовакуумной обработки получаемого экструдата приведена на рисунке 1.

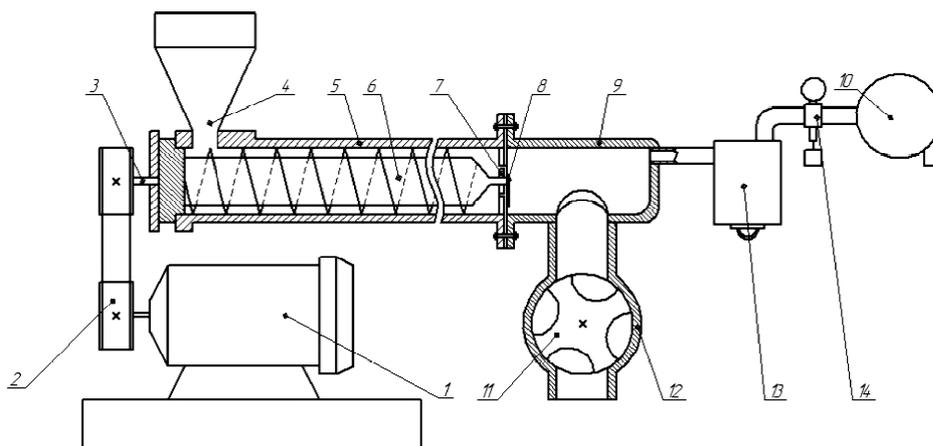


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера:

- 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – вал; 4 – загрузочная камера; 5 – корпус экструдера; 6 – шнек; 7 – фильера; 8 – режущее устройство; 9 – вакуумная камера; 10 – вакуумный насос; 11 – шлюзовой затвор; 12 – выгрузная камера; 13 – вакуум-баллон; 14 – вакуум-регулятор

Работает модернизированный экструдер следующим образом. Исходное сырьё посредством загрузочной камеры направляется в шнековую часть экструдера. Захваченный шнеком продукт последовательно проходит зоны прессования и дозирования машины, а затем выводится через фильеру матрицы в вакуумную камеру. Термовакуумное воздействие на экструдат в камере модернизированного экструдера позволяет регулировать структурные и функциональные свойства готового продукта, а также его влажность [7, 8].

Цель исследования – теоретическое обоснование термовакуумного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере.

Задача исследования – определить аналитическими методами зависимость интенсивности испарения влаги с поверхности экструдата от величины вакуума в камере модернизированного экструдера.

Материалы и методы исследований. В процессе оценки интенсивности испарения влаги при получении экструдатов наибольшие трудности возникают при рассмотрении перехода жидкости в перегретое состояние и последующего за ним детонационного вскипания, под которым понимается лавинообразное возникновение центров кипения в объеме перегретой жидкости и ее быстрое испарение.

Испарение жидкости приводит к тому, что большая часть тепловой энергии, потраченной на перегрев жидкости, преобразуется в механическую энергию сжатия и кинетическую энергию движущейся парожидкостной смеси. Это явление формализуется зависимостью [9]

$$\Delta E = M \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где M , c_p , ΔT – масса, теплоемкость и величина перегрева «взрывающейся» порции жидкости.

Разрушающая способность «взрыва» определяется механизмом вскипания жидкости и количеством выделившейся энергии, которая оценивается следующим выражением:

$$E = c_p \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где c_p – теплоемкость; ρ – плотность; V – объем вскипевшей части жидкости; ΔT – величина перегрева, $\Delta T = T - T_3$.

Механизм вскипания воды зависит от взаимодействия целого ряда факторов. К ним можно отнести внешний или внутренний импульс давления, под действием которого активируются центры кипения; место расположения и плотность этих центров, а также время и последовательность их активации; зависимость количества центров кипения от давления, температуры и наличия примесей в жидкости.

Характер вскипания изменяется в зависимости от относительной величины перегрева и может быть охарактеризован следующей зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{(T - T_S)}{(T_n - T_S)}, \quad (3)$$

где T , T_S , T_n – температуры жидкости, ее насыщенных паров и предельного (достижимого) перегрева.

При малых перегревах ($\varepsilon \ll 1$) обычно наблюдается кипение в отдельных центрах и в этом случае в парожидкостную смесь превращается лишь малая часть перегретой жидкости, которая непосредственно прилегает к центрам кипения. При перегревах, близких к предельным ($\varepsilon \approx 1$), вскипание носит взрывной характер и в парожидкостную смесь превращается весь объем перегретой жидкости.

Наиболее важной характеристикой взрывного вскипания жидкости служит возникающий при этом импульс давления, который и оказывает в конечном итоге влияние на коэффициент расширения экструдата.

В процессе получения экструдатов с пористой структурой, кроме взрывного испарения свободной воды, их влажность может также уменьшаться за счет конвективного массообмена в процессе испарения воды с поверхности продукта.

Известно, что скорость испарения воды с поверхности объекта сушки зависит от свойств окружающей среды. Определим скорость испарения воды с поверхности экструдата для случая, когда окружающей средой является сухой воздух.

Поскольку в этом случае массообмен определяется конвективным процессом, то поток массы удобно оценивать пропорционально разности между массовыми концентрациями на поверхности и в окружающей среде [10], т.е.

$$\dot{m}_A = h_m A (C_{As} - C_{A\infty}), \quad (4)$$

где \dot{m}_A – скорость испарения воды, кг/с; h_m – коэффициент конвективного массообмена, м/с; A – площадь поверхности, м²; C_{As} – массовая концентрация влаги на поверхности, кг/м³; $C_{A\infty}$ – массовая концентрация влаги в окружающей среде, кг/м³.

Уравнение (4) является основным уравнением для расчета конвективного массообмена при малых значениях потока массы и, в свою очередь, определяет смысл коэффициента конвективного массообмена h_m . Вместе с этим данное уравнение аналогично по форме записи закону Ньютона при охлаждении.

Для решения задачи исследования приведем схему испарения влаги с поверхности экструдата (рис. 2) и рассмотрим перенос тепла от горизонтальной поверхности, на которой развивается тепловой пограничный слой.

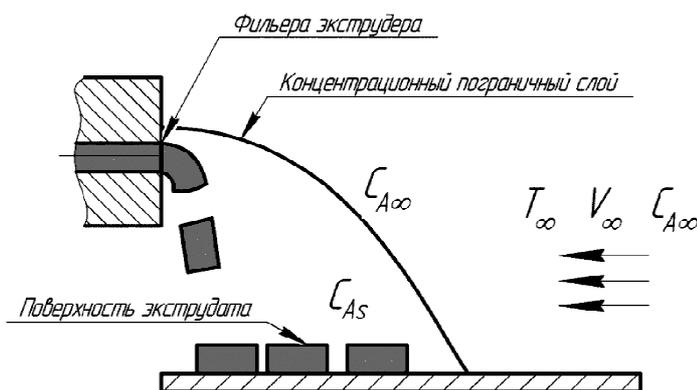


Рис. 2. Схема испарения влаги с поверхности экструдата

Над поверхностью экструдированного продукта образуется концентрационный пограничный слой, внутри которого концентрация изменяется в направлении, перпендикулярном горизонтальной поверхности. Снаружи пограничного слоя концентрация водяного пара остается постоянной и равной своему значению в окружающей среде.

Между процессами конвективного теплообмена и массообмена существует подобие. Поэтому, получив уравнения для процессов конвективного переноса тепла и массы, можно считать их подобными; причем массовая концентрация C_A аналогична температуре T , а коэффициент бинарной диффузии D_{AB} аналогичен коэффициенту температуропроводности α .

Методом расчета коэффициента массообмена является использование соответствующего безразмерного соотношения для конвективного теплообмена с подстановкой соответствующих безразмерных комплексов, описывающих процесс массообмена. При этом безразмерным комплексом, описывающим теплообмен, является число Нуссельта; массообмен – число Шервуда; отношение переноса количества движения к теплопроводности – число Прандтля; отношение переноса количества движения к массовой диффузии – число Шмидта; отношение силы инерции к силе вязкости – число Рейнольдса.

Результаты исследований. Определим скорость испарения воды с поверхности экструдата для условий, когда площадь экструдата, получаемого с помощью модернизированного экструдера, равна 0,64 м², сторона квадрата поверхности экструдата L=0,8 м; скорость воздуха в зоне выхода экструдата из фильеры в приемный лоток составляет 0,1 м/с и 6 м/с – при поступлении экструдата в вакуумную камеру модернизированного экструдера.

Температура воздуха окружающей среды и в вакуумной камере равна 25°С, а температура воды, находящейся в экструдате в виде пара – 60°С.

Перед расчетом подберем соответствующее безразмерное соотношение для числа Шервуда и определим характер течения воздуха в обоих случаях, для чего рассчитаем число Рейнольдса. Для случая поступления получаемого экструдата в среду с атмосферным давлением оно равно

$$Re_A = \frac{\rho \cdot V_{\infty} \cdot L}{\mu} = \frac{1,146 \cdot 0,1 \cdot 0,8}{18,4 \cdot 10^{-6}} = 4982, \quad (5)$$

где Re_A – критерий Рейнольдса при атмосферном давлении; ρ – плотность воздуха, кг/м³; V_{∞} – скорость воздуха в конечной точке поверхности экструдата, м/с; L – длина поверхности экструдата, м; μ – коэффициент динамической вязкости, Н·с/м².

Число Рейнольдса для случая подачи экструдата в вакуумную камеру равно

$$Re_V = \frac{\rho \cdot V_{\infty} \cdot L}{\mu} = \frac{1,146 \cdot 6 \cdot 0,8}{18,4 \cdot 10^{-6}} = 298956. \quad (6)$$

Течение воздуха полностью турбулентное в обоих анализируемых случаях, поэтому безразмерные критерий Шервуда найдем из выражения

$$Sh_A = 0,036 Sc^{1/3} Re_A^{0,8}; Sh_V = 0,036 Sc^{1/3} Re_V^{0,8}, \quad (7)$$

где Sh_A – критерий Шервуда при атмосферном давлении; Sh_V – критерий Шервуда при экструдировании в вакуумную камеру.

Используя данные о физических свойствах воды и воздуха при 25°С, имеем:

– коэффициент бинарной диффузии воздух-вода $D_{AB} = 2,6 \cdot 10^{-5}$ м²/с;

– критерий Шмидта $Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{16,18 \cdot 10^{-6}}{2,6 \cdot 10^{-5}} = 0,622$.

Определим число Шервуда для атмосферного давления

$$Sh_A = 0,036 \cdot 0,622^{1/3} \cdot 4982^{0,8} = 27,89$$

и для вакуумной камеры

$$Sh_V = 0,036 \cdot 0,622^{1/3} \cdot 298956^{0,8} = 737,99.$$

Коэффициент конвективного теплообмена h_m найдем из выражения критерия Шервуда

$$Sh = \frac{h_m \cdot L}{D_{AB}}. \quad (8)$$

Выразим его из выражения (8) и получим для атмосферного давления

$$h_m^A = \frac{Sh_A \cdot D_{AB}}{L} = \frac{27,89 \cdot 2,6 \cdot 10^{-5}}{0,8} = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Для вакуумной камеры коэффициент конвективного теплообмена равен

$$h_m^V = \frac{Sh_V \cdot D_{AB}}{L} = \frac{737,99 \cdot 2,6 \cdot 10^{-5}}{0,8} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с.}$$

Определим концентрацию паров воды у поверхности экструдатов и в окружающем воздухе.

У поверхности экструдированного продукта воздух насыщенный и имеет относительную влажность 100%. Соотношение между относительной влажностью, температурой насыщения и парциальным давлением водяного пара можно выразить как

$$P_A = \phi \cdot P_{\text{нас}}, \quad (9)$$

где P_A – парциальное давление водяного пара при атмосферном давлении, Па; ϕ – относительная влажность воздуха, %; $P_{\text{нас}}$ – давление насыщенного пара, Па.

Из таблиц для водяного пара давление насыщения при температуре воздуха 25°C равно $P_{\text{нас}} = 3169$ Па; давление насыщения водяного пара вблизи поверхности экструдированного продукта при примерной температуре 60°C равно $P_{\text{пов.нас}} = 19932$ Па.

Определим концентрацию водяного пара при выбросе экструдированного продукта в атмосферный воздух.

Концентрация водяного пара у поверхности экструдированного продукта равна

$$C_{As} = \frac{M_{\omega} \cdot P_{\text{пов.нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 19932}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 333} = 0,13 \text{ кг/м}^3, \quad (10)$$

где M_{ω} – молярная масса воды, г/моль; R_u – универсальная газовая постоянная, Дж/(Кмоль · град); T – температура, °К.

Концентрация водяного пара в воздухе над экструдированным продуктом при относительной влажности воздуха $\phi_{\infty} = 60\%$:

$$C_{A\infty} = \frac{M_{\omega} \cdot \phi_{\infty} \cdot P_{\text{нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 0,60 \cdot 3169}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 298} = 0,014 \text{ кг/м}^3. \quad (11)$$

С помощью формулы (4) рассчитаем скорость испарения воды

$$\dot{m}_A = h_m^A A (C_{As} - C_{A\infty}) = 9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 0,64 \cdot (0,13 - 0,014) = 6,726 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (12)$$

Определим концентрацию водяного пара при подаче экструдированного продукта в вакуумную камеру модернизированного экструдера, для чего найдем концентрацию водяного пара у поверхности экструдата по формуле

$$C_{As} = \frac{M_{\omega} \cdot P_{\text{пов.нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 19932}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 333} = 0,13 \text{ кг/м}^3. \quad (13)$$

Концентрацию водяного пара над экструдатом при относительной влажности воздуха $\phi_{\infty} = 5\%$ в вакуумной камере можно вычислить из выражения

$$C_{A\infty} = \frac{M_{\omega} \cdot \phi_{\infty} \cdot P_{\text{нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 0,05 \cdot 3169}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 298} = 1,151 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3. \quad (14)$$

Скорость испарения воды из экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера определим по формуле (4), подставив соответствующие значения параметров

$$\dot{m}_V = h_m^V A (C_{As} - C_{A\infty}) = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,64 \cdot (0,13 - 0,00115) = 1,979 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (15)$$

Интенсивность испарения влаги с поверхности экструдата в случае замены атмосферного давления окружающей среды на вакуум камеры модернизированного экструдера можно оценить отношением

$$\frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_A} = \frac{1,979 \cdot 10^{-3}}{6,726 \cdot 10^{-5}} = 29,423. \quad (16)$$

Таким образом, применение вакуумной камеры в модернизированном экструдере в сравнении с атмосферным давлением позволит увеличить интенсивность испарения влаги с поверхности экструдата более чем в 29 раз.

Заключение. Получено теоретическое обоснование термовакuumного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере. Опираясь на первый закон Фика, уравнения состояния идеального газа, а также на теорию подобия, в работе представлен расчет конвективного массообмена влаги в условиях получения экструдата при атмосферном давлении воздуха и при пониженном давлении воздуха в вакуумной камере модернизированного экструдера. При этом скорость испарения влаги с поверхности экструдатов при использовании вакуумной камеры возрастает примерно в 30 раз, что оправдывает ее применение с целью интенсификации обезвоживания и образования пор в готовом продукте.

Библиографический список

1. Остриков, А. Н. Технология экструзионных продуктов / А. Н. Остриков, Г. О. Магомедов, Н. М. Дерканосова [и др.]. – СПб. : Проспект науки, 2007. – 202 с.
2. Мартиросян, В. В. Научные и практические аспекты применения экструдатов зернового сырья в технологии профилактических пищевых продуктов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01 / Мартиросян Владимир Викторович. – М., 2013. – 52 с.
3. Крылова, В. Б. Научное обоснование и разработка технологии термопластической экструзии мясного и растительного сырья с целью расширения ассортимента мясопродуктов : автореф. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Крылова Валентина Борисовна. – М., 2006. – 46 с.
4. Курочкин, А. А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №4. – С. 86-91.

5. Курочкин, А. А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №4. – С. 94-99.
6. Курочкин, А. А. Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Нива Поволжья. – 2014. – №30. – С. 70-76.
7. Пат. 2460315 Российская Федерация МПК А23L1/00. Способ производства экструдатов / Шабурова Г. В., Курочкин А. А., Воронина П. К. [и др.]. – №20011107960; заявл. 01.03.2011; опубл. 10.09.2011, Бюл. №25. – 6 с.
8. Курочкин, А. А. Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №4. – С. 70-74.
9. Буланов, Н. В. Взрывное вскипание диспергированных жидкостей: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.14 / Буланов Николай Владимирович. – Екатеринбург, 2001. – 284 с.
10. A two-phase mixture model of liquid-gas flow and heat transfer in capillary porous media – I. Formulation / Chao-Yang Wang, C. Beckermann // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1993. – Vol. 36. – №11. – P. 2747-2758.

УДК 631.347

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОЖДЯ ДМ «ФРЕГАТ»

Надежкина Галина Петровна, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410004, г. Саратов, ул. Е. И. Пугачева, 1.

E-mail: nadejkinagr@yandex.ru

Слюсаренко Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410031, г. Саратов, ул. Московская, 25.

E-mail: kiguri1@rambler.ru

Акпасов Антон Павлович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

413415, Саратовская область, с. Воскресенка, 1.

E-mail: 1a9@mail.ru

Ключевые слова: дождь, машина, дождеватель, полив, мощность.

Цель исследования – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» за счет снижения энергетического воздействия дождя. В Саратовском Заволжье орошение позволяет в 2-3 раза увеличить продуктивность агроценозов. Наряду с положительным эффектом от мелиорации необходимо обратить внимание и на ухудшение экологической обстановки в местах использования дождевальной техники. Развитие таких негативных процессов как подъем уровня грунтовых вод, вторичное засоление, водная эрозия происходят из-за использования дождевальной техники, обладающей повышенным воздействием на почву, вследствие значительной высоты подъема дождевого облака, повышенной крупности капель дождя, высокой интенсивности дождя. При определении нормы полива до стока фиксировались конструктивные и технологические параметры серийных и модернизированных дождевателей ДМ «Фрегат», а также учитывались тип и механический состав почвы, вид сельскохозяйственных культур, степень покрытия почвы растениями. Норма полива до стока $M_{\text{ос}}$ уменьшалась с увеличением уклона поля, предположенной влажности и уплотнения (объемной массы) верхнего слоя почвы (по мере увеличения кратности поливов). Увеличению нормы полива до стока способствует увеличение степени покрытия почвы растениями.

Орошение является важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства. Наиболее распространенным способом механизированного полива является дождевание. Важнейшим направлением в решении вышеизложенных проблем является научное обоснование и разработка новой техники полива с учетом мировых тенденций развития мелиорации. Задачи исследований, направленные на минимизацию или устранение недостатков, обеспечат значительную экономию водных ресурсов и будут способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

В связи с этим улучшение агротехнических показателей полива ДМ «Фрегат» является актуальной задачей.

Цель исследования – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» за счет снижения энергетического воздействия дождя.

Задача исследования – определить агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.

Материалы и методы исследований. Теоретические исследования проводились в ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ, экспериментальные исследования выполнялись на полях ОПХ ВолжНИИГиМ Энгельского