

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.867:634.739.3

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВСАСЫВАЮЩЕГО УЗЛА ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАБОРА ЯГОД КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ С ПОВЕРХНОСТИ ЗАТОПЛЕННОГО ЧЕКА

П. Ю. КРУПЕНИН, А. Г. ЛЯГУСКИЙ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: pavel@krupenin.com

(Поступила в редакцию 03.01.2025)

Механизированная уборка клюквы крупноплодной осуществляется преимущественно мокрым способом. Для плантаций клюквы крупноплодной в Республике Беларусь рациональным техническим средством для отделения ягод от побегов является битерный хедер, обеспечивающий отделение более 80 % ягод за один проход агрегата. Недостатком его работы является отрыв некоторых частей растений: листьев и стеблей как самого кустарничка клюквы, так и сорных растений, в результате чего у поверхности затопленного чека образуется плавающий ягодный ворох, состоящий из ягод и растительных примесей длиной от 1...2 до 40...50 см.

Перспективным типом технических средств для забора ягодного вороха с поверхности затопленного чека являются гидротранспортные установки. С целью адаптации данного технического средства для работы в условиях высокой засоренности ягодного вороха предлагается оснастить установку всасывающим узлом с активным гребневым конвейером, обеспечивающим механизированное отделение длинных примесей от плавающего у поверхности затопленного чека ягодного вороха.

Для обоснования технологических параметров всасывающего узла в статье изложены результаты теоретических исследований его рабочего процесса. Приведены аналитические зависимости, позволяющие определять рациональные кинетические параметры понтонной системы и всасывающего узла гидротранспортной установки, обеспечивающие эффективную очистку ягодного вороха от длинных примесей с помощью гребневого конвейера. Обоснованы рациональные границы варьирования технологических параметров гидротранспортной установки: подача насоса $0,061 \dots 0,121 \text{ м}^3/\text{с}$; удельное количество ягод при прохождении ворохом секции очистки всасывающего узла $(3 \dots 6) \cdot 10^3 \text{ шт}/\text{м}^2$. Получена аналитическая зависимость, позволяющая определять рациональные значения скорости вытягивания свободного конца понтона в зависимости от геометрических параметров понтонной системы и технологических характеристик ягодного вороха.

Ключевые слова: клюква крупноплодная, теоретические исследования, гребневой конвейер, техническое обеспечение, гидротранспорт.

Mechanized harvesting of large-fruited cranberries is carried out mainly by the wet method. For large-fruited cranberry plantations in the Republic of Belarus, a rational technical means for separating berries from shoots is a beater header, which ensures the separation of more than 80 % of berries in one pass of the unit. The disadvantage of its operation is the tearing off of some parts of the plants: leaves and stems of both the cranberry bush itself and weeds, as a result of which a floating berry heap consisting of berries and plant impurities from 1 ... 2 to 40 ... 50 cm in length is formed at the surface of the flooded check.

A promising type of technical means for collecting berry heaps from the surface of the flooded check are hydrotransport units. In order to adapt this technical means for operation in conditions of high contamination of berry crops, it is proposed to equip the unit with a suction unit with an active ridge conveyor, providing mechanized separation of long impurities from the berry heap floating at the surface of the flooded check.

In order to substantiate the technological parameters of the suction unit, the article presents the results of theoretical studies of its working process. Analytical dependencies are given that allow determining the rational kinetic parameters of the pontoon system and the suction unit of the hydrotransport unit, providing effective cleaning of the berry heap from long impurities using a ridge conveyor. Rational limits for varying the technological parameters of the hydrotransport unit are substantiated: pump feed $0.061 \dots 0.121 \text{ m}^3/\text{s}$; specific number of berries when the heap passes the cleaning section of the suction unit $(3 \dots 6) \cdot 10^3 \text{ pcs}/\text{m}^2$. An analytical dependence has been obtained that allows determining rational values of the speed of pulling out the free end of the pontoon depending on the geometric parameters of the pontoon system and the technological characteristics of the berry heap.

Key words: large-fruited cranberry, theoretical research, ridge conveyor, technical support, hydraulic transport.

Введение

В плодах клюквы крупноплодной содержится богатый комплекс биологически активных соединений: органических кислот, полифенолов, витаминов, углеводов, пектиновых веществ, макро- и мик-

розлементов. Уникальный химический состав ягод обуславливает их высокую пищевую и лечебно-профилактическую ценность, а также делает их ценным сырьем для пищевой и фармацевтической промышленности [1, с. 12].

Крупнейшим производителем ягод клюквы крупноплодной в Республике Беларусь является основанное в 1985 году ОАО «Полесские Журавины». На предприятии построено 72 чека совокупной площадью 66 га. Максимальная биологическая урожайность клюквы крупноплодной в агроклиматических условиях Беларуси составляет 12...15 т/га, средняя – 5...6 т/га [2, 3].

Механизированная уборка клюквы крупноплодной осуществляется преимущественно мокрым способом, заключающимся в выполнении следующих технологических операций: 1) заполнение чека водой на глубину 40...50 см; 2) механическое отделение ягод от побегов; 3) сбор и перемещение к зоне выгрузки плавающего у поверхности воды ягодного вороха с помощью понтона; 4) забор ягодного вороха с поверхности воды, отделение ягод от примесей с последующей погрузкой в транспортные средства; 5) выпуск воды из чека [4, 5].

В сложившихся агротехнологических условиях на плантациях клюквы крупноплодной в Республике Беларусь наиболее рациональным типом технических средств для отделения ягод от побегов является передненавесной битерный хедер, рабочий орган которого представляет собой вращающийся прутковый или планчатый барабан. Битерный хедер за один проход отделяет более 80 % ягод, однако вместе с этим происходит отрыв листьев и отдельных стеблей как самого кустарничка клюквы, так и сорных растений, в результате чего на поверхности затопленного чека образуется плавающий ягодный ворох, представляющий собой смесь ягод с растительными примесями (листья, фрагменты стеблей и др.) длиной от 1...2 до 40...50 см.

Перспективным типом технических средств для забора ягодного вороха с поверхности затопленного чека являются гидротранспортные установки, состоящие из всасывающей воронки, центробежного насоса с геликоидальным ротором и наклонного грохота для отделения ягод от воды и коротких примесей. Гидротранспортные установки обладают высокой производительностью при минимальном повреждении ягод, однако при высокой засоренности ягодного вороха длинными примесями, что характерно для агротехнологических условий на плантациях клюквы крупноплодной в Республике Беларусь, эффективность их работы снижается, а также существенно (на 10...12 чел.-ч в расчете на 1 т ягод) увеличиваются затраты труда ввиду необходимости ручного отделения длинных примесей от вороха. С целью устранения указанного недостатка разработана усовершенствованная конструктивно-технологическая схема гидротранспортной установки, оснащенная всасывающим узлом с активным гребневым конвейером, обеспечивающим механизированное отделение длинных примесей от плавающего у поверхности затопленного чека ягодного вороха [6, 7].

Цель исследования: аналитическое описание процесса работы понтонной системы всасывающего узла гидротранспортной установки с обоснованием рациональных границ варьирования основных технологических параметров, в пределах которых обеспечивается эффективная очистка ягодного вороха от длинных примесей гребневым конвейером.

Основная часть

Для обоснования рациональных конструкционных и технологических параметров как активного гребневого конвейера, так и понтонной системы рассмотрим рабочий процесс всасывающего узла гидротранспортной установки для забора ягод клюквы крупноплодной с поверхности затопленного чека.

Всасывающий узел (рис. 1) гидротранспортной установки для забора ягод клюквы крупноплодной с поверхности затопленного чека представляет собой корпус 4, разделенный перегородкой 5 на две секции: очистки и всасывания. В секции очистки расположен гребневой конвейер, состоящий из закрепленных на приводной цепи планок 3 с прутками 2. Привод конвейера осуществляется от электрического или гидравлического двигателя. К открытому торцу секции очистки присоединен гибкий понтон, один конец которого шарнирно закреплен в точке В, а второй – заведен на блок 7 и оставлен свободным. Секция всасывания соединена с трубопроводом 6, по которому вода с ягодами клюквы всасывается насосом гидротранспортной установки, который, в свою очередь, подает эту смесь на грохот, отделяющий ягоды клюквы от транспортирующего потока воды и мелких примесей.

Принцип работы всасывающего узла гидротранспортной установки заключается в следующем. Рассредоточенные по водной поверхности чека ягоды «сгребают» с помощью гибкого понтона, после чего этим же понтоном перемещают образовавшийся ягодный ворох к всасывающему узлу. Один конец понтона прикрепляют в точке В к корпусу 4 всасывающего узла, а второй – пропускают через

блок 7 и оставляют свободно плавать на поверхности воды. Работающий насос гидротранспортной установки создает поток воды с расходом Q_V , который увлекает ягодный ворох из периметра понтонной системы во внутрь корпуса 4, в результате чего в секции очистки всасывающего узла создается движущийся у поверхности воды слой ягод клюквы с сопутствующими примесями. По мере продвижения вороха по всасывающему узлу он «прочесывается» гребневым конвейером 8, прутки 2 которого захватывают длинные примеси, перемещают их в нижнюю часть секции очистки и выводят за пределы корпуса всасывающего узла. Далее, очищенный от длинных примесей ягодный ворох, поступает в секцию всасывания, из которой вместе с потоком воды всасывается в трубопровод 6 и подается на разделительный грохот.

В результате исследований процесса формирования ягодного вороха клюквы крупноплодной установлено, что толщина его подводной части в 2,2...2,8 раза превышает толщину его надводной части. Это объясняется тем, что при формировании ягодного вороха мелкие, более плотные ягоды оказываются в его нижних слоях и создают меньшую, по сравнению с крупными ягодами, выталкивающую (Архимедову) силу [8].

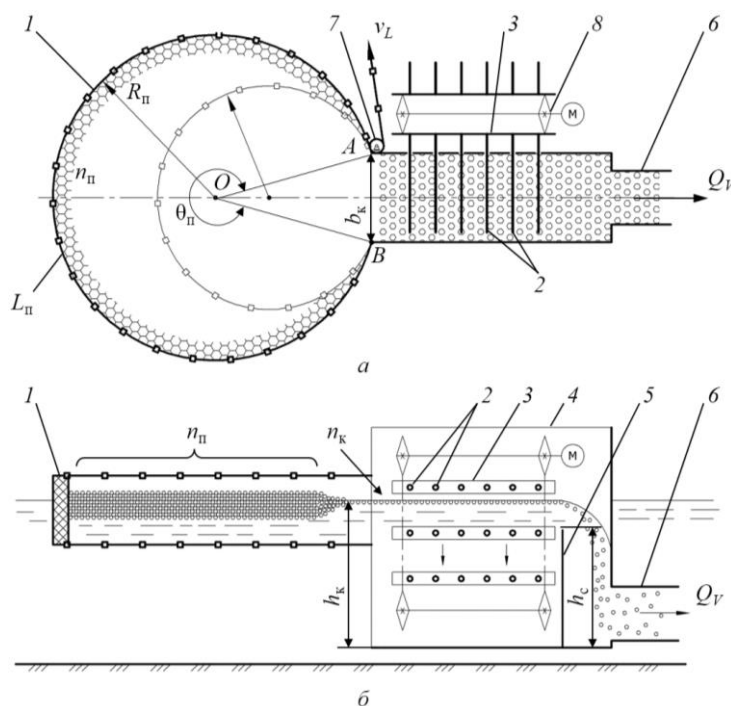


Рис. 1. Схема к обоснованию параметров всасывающего узла и понтонной системы:

а – вид сверху; *б* – продольный разрез;

1 – понтон; 2 – прутки; 3 – планка; 4 – корпус; 5 – перегородка; 6 – трубопровод; 7 – блок; 8 – гребневой конвейер

Принимая во внимание тот факт, что формирование плавающего ягодного вороха осуществляется преимущественно ниже уровня поверхности воды, можно заключить, что толстый, собранный с помощью понтона, ягодный ворох с большой долей вероятности будет содержать значительное количество длинных примесей, сосредоточенных преимущественно в его подводной части. Механическая очистка такого толстого вороха гребневым конвейером может сопровождаться потерей части ягод, которые «застревают» в переплетениях длинных примесей и удаляются вместе с ними из всасывающего узла прутками конвейера.

С целью предотвращения потерь ягод необходимо учитывать особенности формирования ягодного вороха и предпринимать меры по снижению его толщины в момент прохождения через секцию очистки всасывающего узла гидротранспортной установки. Управление количеством ягод, поступающих во всасывающий узел за единицу времени, и, как следствие, толщиной ягодного вороха в секции очистки, осуществляется изменением площади ягодного вороха внутри периметра понтона 1 путем вытягивания его свободного конца через блок 7 со скоростью v_L .

Допустим, что горизонтальная проекция фигуры, образованной понтоном 1 и входным торцом всасывающего узла, представляет собой круговой сегмент с радиусом $R_{\text{п}}$, хордой $b_{\text{к}}$ и длиной дуги $L_{\text{п}}$. С учетом данного допущения площадь ягодного вороха внутри периметра понтона может быть определена по формуле [9, с. 169]:

$$S_{\pi}(t) = \frac{1}{2} R_{\pi}(t)^2 (\theta_{\pi}(t) - \sin \theta_{\pi}(t)), \quad (1)$$

где $\theta_{\pi}(t)$ – угол дуги кругового сегмента, рад.

Зная, что длина L_{π} и угол θ_{π} кругового сегмента связаны соотношением

$$L_{\pi}(t) = \theta_{\pi}(t) R_{\pi}(t), \quad (2)$$

представим формулу (1) в следующем виде:

$$S_{\pi}(t) = \frac{1}{2} R_{\pi}(t)^2 \left(\frac{L_{\pi}(t)}{R_{\pi}(t)} - \sin \frac{L_{\pi}(t)}{R_{\pi}(t)} \right). \quad (3)$$

Значение угла θ_{π} представим в виде разности углов 2π и угла O треугольника AOB :

$$\theta_{\pi}(t) = 2\pi - 2 \arcsin \frac{b_k}{2R_{\pi}(t)}, \quad (4)$$

где b_k – ширина проточной части всасывающего узла, м.

Выполним подстановку функции угла $\theta_{\pi}(t)$ из выражения (4) в формулу (2):

$$L_{\pi}(t) = 2R_{\pi}(t) \left(\pi - \arcsin \frac{b_k}{2R_{\pi}(t)} \right). \quad (5)$$

После подстановки функции длины понтона $L_{\pi}(t)$ из формулы (5) в выражение (3) и последующих математических преобразований, получим:

$$S_{\pi}(t) = \pi R_{\pi}(t)^2 - R_{\pi}(t)^2 \arcsin \frac{b_k}{2R_{\pi}(t)} + \frac{1}{2} b_k R_{\pi}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}}. \quad (6)$$

Выражение (6) представляет собой функциональную зависимость площади ягодного вороха внутри понтонной системы S_{π} от значений радиуса понтона R_{π} .

Скорость изменения площади ягодного вороха внутри периметра понтона v_s (м²/с) получим дифференцированием функции $S_{\pi}(t)$ по времени t :

$$v_s(t) = \frac{dS_{\pi}(t)}{dt} = \frac{\frac{dR_{\pi}(t)}{dt} \left(b_k - 2R_{\pi}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}} \arcsin \frac{b_k}{2R_{\pi}(t)} + 2\pi R_{\pi}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}} \right)}{\sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}}}. \quad (7)$$

Обозначим производную $\frac{dR_{\pi}(t)}{dt}$, в физическом смысле представляющую собой скорость изменения радиуса понтона R_{π} , как $v_R(t)$:

$$v_s(t) = \frac{v_R(t) \left(b_k - 2R_{\pi}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}} \arcsin \frac{b_k}{2R_{\pi}(t)} + 2\pi R_{\pi}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}} \right)}{\sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\pi}(t)^2}}}. \quad (8)$$

По мере сжатия понтона и, как следствие, сокращения площади ягодного вороха, ягоды клюквы внутри его периметра увлекаются течением воды и поступают во всасывающий узел гидротранспортной установки. Подача ягод клюквы (шт/с) при изменении площади понтона составит:

$$Q_{N\pi}(t) = n_{\pi} v_s(t), \quad (9)$$

где n_{π} – удельное количество ягод клюквы во внутреннем периметре понтона, шт/м².

Предельную пропускную способность всасывающего узла (шт/с) можно определить произведением площади водяного зеркала $S_{в.з.}$, перемещающегося через поперечное сечение секции очистки за единицу времени, на значение удельного количества ягод n_k , при котором обеспечивается качественная работа гребневого конвейера:

$$Q_{Nk} = n_k S_{в.з.} = n_k \frac{Q_V}{h_k}, \quad (10)$$

где Q_V – подача насоса гидротранспортной установки, м³/с;

h_k – уровень воды в корпусе всасывающего узла, м.

Очевидно, что для сохранения работоспособности гидротранспортной установки и обеспечения качественной очистки ягод клюквы от длинных примесей гребневым конвейером, подача ягод при сжатии понтона $Q_{Nп}$ не должна превышать предельной пропускной способности всасывающего устройства $Q_{Nк}$, т. е. $Q_{Nп} \leq Q_{Nк}$.

Исходя из вышеприведенного условия, приравняем правые части формул (9–10) и решим образовавшееся уравнение относительно $v_R(t)$:

$$v_R(t) = \frac{n_k Q_v \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{п}(t)^2}}}{n_{п} h_k \left(b_k - 2R_{п}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{п}(t)^2}} \arcsin \frac{b_k}{2R_{п}(t)} + 2\pi R_{п}(t) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{п}(t)^2}} \right)}. \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой функцию скорости v_R изменения радиуса понтона $R_{п}$ от времени t , при которой обеспечивается условие $Q_{Nп} = Q_{Nк}$.

С целью определения скорости вытягивания понтона v_L продифференцируем функцию $L_{п}(t)$ из формулы (5) по времени t :

$$v_L(t) = \frac{dL_{п}(t)}{dt} = \frac{2 \frac{dR_{п}(t)}{dt}}{R_{п}(t)} \left(\frac{b_k}{\sqrt{4 - \frac{b_k^2}{R_{п}(t)^2}}} + \pi R_{п}(t) \right) - 2 \frac{dR_{п}(t)}{dt} \arcsin \frac{b_k}{2R_{п}(t)}. \quad (12)$$

По аналогии с выражением (7) заменим производную $\frac{dR_{п}(t)}{dt}$ на функцию скорости изменения радиуса понтона $v_R(t)$:

$$v_L(t) = 2v_R(t) \left(\pi + \frac{b_k}{\sqrt{4R_{п}(t)^2 - b_k^2}} - \arcsin \frac{b_k}{2R_{п}(t)} \right). \quad (13)$$

В результате анализа зависимостей, приведенных в формулах (8), (11) и (13), можно заключить, что единственная переменная функций $v_S(t)$, $v_R(t)$ и $v_L(t)$ представлена неизвестной зависимостью $R_{п}(t)$. С другой стороны, из описания принципа работы всасывающего узла и понтонной системы известно, что при заборе ягодного вороха с поверхности затопленного водой чека, радиус понтона $R_{п}$ уменьшается от некоторого максимального значения R_{max} до $R_{min} = b_k/2$ (центр окружности понтона O лежит на линии AB), после чего радиус $R_{п}$ резко увеличивается и, в конечном счете, $R_{п} \rightarrow \infty$ при длине понтона $L_{п} = b_k$. Если исключить из математического описания второй этап работы понтонной системы при $R_{п} \in \left[\frac{b_k}{2}; \infty \right)$ ввиду того, что количество ягодного вороха, поступающего во всасывающий узел в ходе данного этапа несоразмерно меньше объема работы, выполняемой на первом этапе при $R_{п} \in \left[R_{max}; \frac{b_k}{2} \right)$, в зависимостях $v_S(t)$, $v_R(t)$ и $v_L(t)$ можно осуществить замену аргумента с функции $R_{п}(t)$ на переменную $R_{п}$. Предлагаемая замена аргумента позволит не только исключить из расчета неизвестную функцию $R_{п}(t)$, но и повысит практическую ценность полученных зависимостей с точки зрения оптимизации конструктивно-технологических параметров понтонной системы и всасывающего узла.

Запишем зависимости (8), (11) и (13) после замены аргумента с $R_{п}(t)$ на $R_{п}$:

$$v_R(R_{п}) = \frac{n_k Q_v \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{п}^2}}}{n_{п} h_k \left(b_k - 2R_{п} \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{п}^2}} \arcsin \frac{b_k}{2R_{п}} + 2\pi R_{п} \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{п}^2}} \right)}; \quad (14)$$

$$v_R(R_{\Pi}) = \frac{v_R(R_{\Pi}) \left(b_k - 2R_{\Pi} \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\Pi}^2}} \arcsin \frac{b_k}{2R_{\Pi}} + 2\pi R_{\Pi} \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\Pi}^2}} \right)}{\sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\Pi}^2}}} = \frac{n_k Q_V}{n_{\Pi} h_k}; \quad (15)$$

$$v_L(R_{\Pi}) = 2v_R(R_{\Pi}) \left(\pi + \frac{b_k}{\sqrt{4R_{\Pi}^2 - b_k^2}} - \arcsin \frac{b_k}{2R_{\Pi}} \right). \quad (16)$$

Формулы (14–16) позволяют определять кинетические параметры понтонной системы в зависимости от ее геометрических размеров и пропускной способности всасывающего узла гидротранспортной установки. Наибольший практический интерес представляет зависимость $v_L(R_{\Pi})$, позволяющая определять рациональную скорость вытягивания понтона v_L с учетом значений его радиуса в диапазоне $R_{\Pi} \in \left[R_{\max}; \frac{b_k}{2} \right)$, при которой обеспечивается эффективная очистка ягодного вороха от длинных примесей гребневым конвейером.

Выполним подстановку функции $v_R(R_{\Pi})$ из формулы (14) в выражение (16) и осуществим математические преобразования:

$$v_L(R_{\Pi}) = \frac{2n_k Q_V \left(\pi + \frac{b_k}{\sqrt{4R_{\Pi}^2 - b_k^2}} - \arcsin \frac{b_k}{2R_{\Pi}} \right) \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\Pi}^2}}}{n_{\Pi} h_k \left(b_k - 2R_{\Pi} \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\Pi}^2}} \arcsin \frac{b_k}{2R_{\Pi}} + 2\pi R_{\Pi} \sqrt{1 - \frac{b_k^2}{4R_{\Pi}^2}} \right)} = \frac{n_k Q_V}{n_{\Pi} h_k R_{\Pi}}. \quad (17)$$

Из выражения (17) следует, что скорость вытягивания свободного конца понтона v_L прямо пропорциональна пропускной способности всасывающего узла $Q_{Nk} = n_k \frac{Q_V}{h_k}$ и обратно пропорциональна удельному количеству ягод клюквы во внутреннем периметре понтона n_{Π} и текущему значению радиуса понтона R_{Π} . Выражение (17) определяет взаимосвязь между скоростью вытягивания понтона v_L и конструктивно-технологическими параметрами гидротранспортной установки.

Производительность гидротранспортной установки, выраженная в количестве ягод клюквы, забираемых из чека за единицу времени (шт/с), равна пропускной способности всасывающего узла:

$$Q_N = Q_{Nk} = n_k \frac{Q_V}{h_k}. \quad (18)$$

Производительность гидротранспортной установки, выраженная в массе забираемых из чека ягод клюквы (кг/с), составит:

$$Q_M = \overline{m}_y Q_N = \overline{m}_y n_k \frac{Q_V}{h_k}, \quad (19)$$

где $\overline{m}_y$ – средневзвешенная масса ягод клюквы крупноплодной, кг.

Выполним анализ параметров, входящих в состав выражения (19). Согласно литературным данным [10, с. 55] средневзвешенная масса ягод клюквы крупноплодной $\overline{m}_y = 1,21 \cdot 10^{-3}$ кг.

Используя математическую модель процесса формирования ягодного вороха [8] опорное значение удельного количества ягод n_k , при котором обеспечивается качественная работа гребневого конвейера, можно определить из условия, при котором ягодный ворох будет представлен одним слоем соприкасающихся, т. е. не имеющих промежутков между друг другом, ягод. Согласно расчетам, данному условию удовлетворяет значение $n_k = 4,5 \cdot 10^3$ шт/м².

Технология уборки клюквы крупноплодной мокрым способом предусматривает заполнение чека водой на глубину 40...50 см [5], что позволяет исходя из конструктивных соображений принять среднее значение уровня воды в корпусе всасывающего узла $h_k = 0,4$ м.

Графическая зависимость производительности Q_M от подачи насоса гидротранспортной установки Q_V при различных значениях удельного количества ягод в секции очистки n_k представлена на рис. 2.

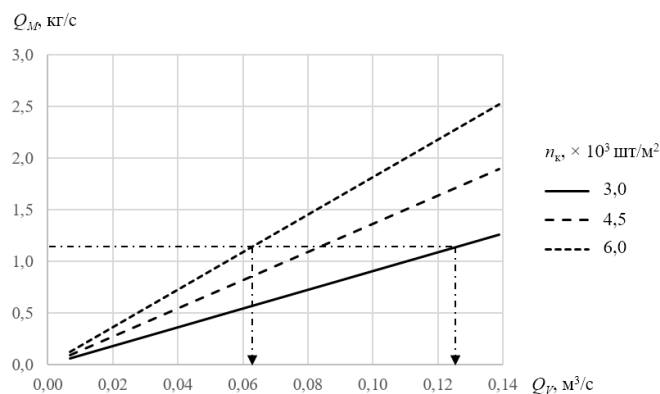


Рис. 2. Зависимость производительности Q_M от подачи насоса Q_V

Принимая во внимание биологическую урожайность клюквы крупноплодной в Республике Беларусь потенциальный сбор ягод с одного чека площадью 1 га может достигать 12...15 т [3], а следовательно для уборки урожая со скоростью не менее 2-х чеков за рабочую смену, производительность гидротранспортной установки Q_M должна составлять не менее 4 т/ч или 1,1 кг/с.

Используя базовое значение производительности $Q_M = 1,1$ кг/с можно графически (см. рис. 2) определить рациональные границы варьирования подачи насоса гидротранспортной установки: $Q_V = 0,061...0,121$ м³/с (220...436 м³/ч).

Рассмотрим функции скоростей $v_S(R_n)$ и $v_L(R_n)$. В состав формул (15) и (17) входит параметр n_n – удельное количество ягод клюквы во внутреннем периметре понтона, для обоснования базового значения которого обратимся к математической модели процесса формирования ягодного вороха [8]. С использованием указанной модели установлено, что за максимальное значение удельного количества ягод внутри периметра понтона рационально принять $n_n = 3,5 \cdot 10^4$ шт/м², при котором толщина ягодного вороха составит 0,102 м (толщина подводной части 0,075 м, надводной – 0,027 м). Дальнейшее увеличение n_n нецелесообразно, т. к. формирование ягодного вороха толщиной более 0,1 м увеличивает вероятность «выскакивания» ягод из-под нижней кромки понтона.

При максимальной биологической урожайности клюквы крупноплодной 15 т/га [3] и средней массе одной ягоды $1,21 \cdot 10^{-3}$ кг [10] количество ягод, собираемых с чека площадью 1 га, составит порядка 12,4 млн. шт. После их «пontonного сгребания» площадь образовавшегося вороха с удельным количеством ягод $n_n = 3,5 \cdot 10^4$ шт/м² будет равна 354 м², а начальный радиус понтонной системы $R_{max} = 10,6$ м.

На рис. 3 приведен график зависимости скоростей $v_S(R_n)$ и $v_L(R_n)$ от радиуса понтонной системы R_n при удельном количестве ягод в секции очистки $n_k = 4,5 \cdot 10^3$ шт/м² и различных значениях подачи насоса гидротранспортной установки Q_V .

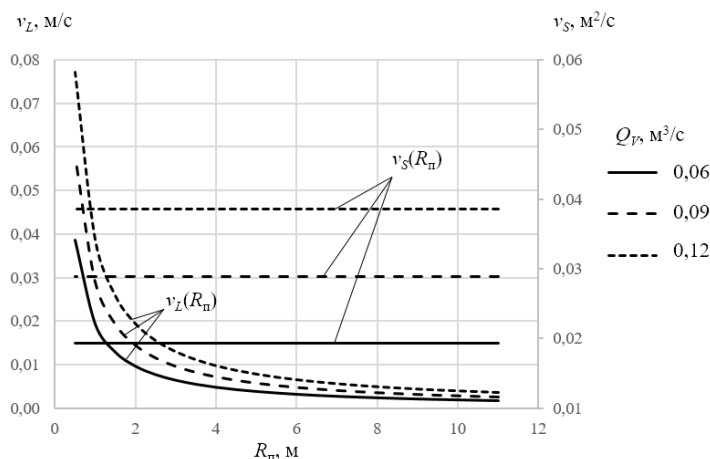


Рис. 3. Зависимости скоростей $v_S(R_n)$ и $v_L(R_n)$ от радиуса понтонной системы R_n

Из графика на рис. 3 видно, что скорость изменения площади понтонной системы v_S определяется пропускной системой и должна оставаться неизменной при изменении радиуса понтона R_n . Скорость вытягивания свободного конца понтона v_L имеет обратно пропорциональную зависимость от радиуса R_n , причем скорость v_L должна изменяться таким образом, чтобы обеспечить постоянную подачу

ягодного вороха из понтонной системы во всасывающий узел во всем диапазоне варьирования значений радиуса R_{Π} .

Графический анализ аналитических зависимостей (15) и (17) позволил установить рациональные интервалы варьирования значений скорости вытягивания свободного конца понтона v_L , которые увеличиваются с 0,002...0,003 м/с при начальном значении радиуса $R_{\Pi} = R_{\max}$ и достигают 0,04...0,08 м/с при $R_{\Pi} \rightarrow \frac{b_k}{2}$.

Заключение

1. Получены аналитические зависимости, позволяющие определять рациональные кинетические параметры понтонной системы гидротранспортной установки для забора ягод клюквы крупноплодной с поверхности затопленного чека, обеспечивающие эффективную очистку ягодного вороха от длинных примесей с помощью гребневого конвейера.

2. Обоснованы рациональные границы варьирования технологических параметров гидротранспортной установки: подача насоса 0,061...0,121 м³/с; удельное количество ягод при прохождении ворохом секции очистки всасывающего узла $(3...6) \cdot 10^3$ шт/м²; скорость вытягивания свободного конца понтона, увеличивающаяся с 0,002...0,003 м/с при начальном значении радиуса понтона $R_{\Pi} = R_{\max}$ до 0,04...0,08 м/с при радиусе понтона $R_{\Pi} \rightarrow \frac{b_k}{2}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюква крупноплодная в Белоруссии / АН БССР, Центр. ботан. сад. – Минск: Наука и техника, 1987. – 238 с.
2. Характеристика сортов, включенных в Государственный реестр за период с 2005 года по 2007 год / ГУ «Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений». – Минск, 2007. – 439 с.
3. Ленковец, Т. И. Урожайность и масса плода сортов клюквы крупноплодной, интродуцированных в Беларусь / Т. И. Ленковец // Плодоводство. – Т. 4. – 2022. – С. 134–139.
4. Крупенин, П. Ю. Перспективное оборудование для уборки клюквы крупноплодной мокрым способом / П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов // Главный агроном. – 2024. – № 9. – С. 52–55.
5. Крупенин, П. Ю. Анализ способов уборки клюквы крупноплодной / П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов, А. Г. Лягуский // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. II междунар. науч.-практ. конф. (Брянск, 7–8 декабря 2023 г.) – Брянск: Брянский гос. аграрн. ун-т, 2023. – С. 231–237.
6. Крупенин, П. Ю. Направление совершенствования технического обеспечения процесса уборки клюквы крупноплодной / П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов, А. Г. Лягуский // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 9–10 февраля 2023 г.). – Т. 1. – Барнаул: Алтайский гос. аграрн. ун-т, 2023. – С. 131–132.
7. Крупенин, П. Ю. Техническое обеспечение процесса уборки клюквы крупноплодной / П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов, А. Г. Лягуский // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сб. науч. ст. 7-й междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 17 ноября 2023 г.). – Ч. 1. – Гомель: Науч.-техн. центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2023. – С. 207–212.
8. Крупенин, П. Ю. Теоретические исследования процесса формирования у поверхности затопленного чека ягодного вороха при механизированной уборке клюквы крупноплодной / П. Ю. Крупенин, А. Г. Лягуский // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии – 2024. – № 2. – С. 117–125.
9. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие для вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 608 с.
10. Мисун, Л. В. Технологические процессы и средства механизации промышленного выращивания брусничных культур: монография / Л. В. Мисун. – Минск: БГАТУ, 2008. – 204 с.