

4. Забродин, В. П. Контроль и управление процессами внесения минеральных удобрений / В. П. Забродин. – Ростов н/Д: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2003. – 124 с.

5. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Саун. – 2-е изд. – М.: Колос, 1980. – 671 с.

6. Нукешев, С. О. Катушечно-штифтовый туковсевающий аппарат / С. О. Нукешев, С. К. Тойгамбаев, Н. Н. Романюк, А. М. Сугирбай // Теоретические и практические вопросы современной науки: сб. науч. работ 7 науч. конф. ЕНО / Евразийское научное объединение. – № 7. – М., 2015. – С. 24–27.

УДК 631.363

Поступила в редакцию 16.07.2018

Received 16.07.2018

**Л. Я. Степук<sup>1</sup>, В. Р. Петровец<sup>2</sup>, Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: belagromech@tut.by

<sup>2</sup>УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Республика Беларусь

email: petrovec\_vr@mail.ru

## **ОБОСНОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ БУНКЕРОВ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ДОЗИРОВАНИЯ**

Приведены методики расчета вместимости бункеров-накопителей исходных компонентов, наддозаторных бункеров, бункеров-накопителей готовой продукции, а также специализированных бункеров, выполняющих не только роль накопителя компонента, но и роль емкости, в которой происходят процессы, изменяющие свойства того же компонента.

*Ключевые слова:* кормоцех, поточная линия дозирования, вместимость бункеров, расчет.

**L. J. Stepuk<sup>1</sup>, V. R. Petrovec<sup>2</sup>, N. D. Lepeschkin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: belagromech@tut.by

<sup>3</sup>Educational Institution «Belarusian State Agricultural Academy»

Gorki, Republic of Belarus

email: petrovec\_vr@mail.ru

## **JUSTIFICATION OF CAPACITY BUNKERS OF STREAMING DOSE LINES**

The methods for calculating the capacity of storage bunkers of initial components, over-hopper bins, storage hoppers of finished products, as well as specialized bins that fulfill not only the role of the component storage ring, but also the role of the capacity in which processes that change the properties of the same component occur.

*Keywords:* feeder, flow dosing line, hopper capacity, calculation.

### **Введение**

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» на протяжении многих лет выполняло и продолжает выполнять различные комплексные задания государственных научно-технических программ республиканского уровня и программ Союзного государства, конечной целью которых является разработка технологий и комплектов оборудования получения полидисперсных сельскохозяйственных материалов. Достаточно назвать семейство комплектов оборудования кормоцехов КОРК для производства рассыпных кормосмесей для различных половозрастных групп крупного рогатого скота и овец, приготовления полнорационных комбикормов для животных, ценных пород рыб и пушных зверей в условиях сельскохозяйственных предприятий, комплексных минеральных и концентрированных протеиновых добавок с использованием местного сырья.

Составляют поточные технологические линии цехов по производству многокомпонентных смесей, максимально используя серийно выпускаемое оборудование. Проектирование новых технологических линий предполагает включение отдельных оригинальных, вновь созданных изделий, предназначенных для выполнения конкретной операции.

В любом случае проектирование технологических линий по приготовлению полидисперсных сельскохозяйственных материалов должно базироваться на знаниях конструктивных особенностей и принципа работы прежде всего дозирующих устройств, питателей, конвейеров, и с учетом этого в обязательном порядке должно обосновываться их взаимное расположение друг относительно друга как по вертикали, так и по горизонтали (в плане). Этот вопрос нами был рассмотрен и опубликован в [1].

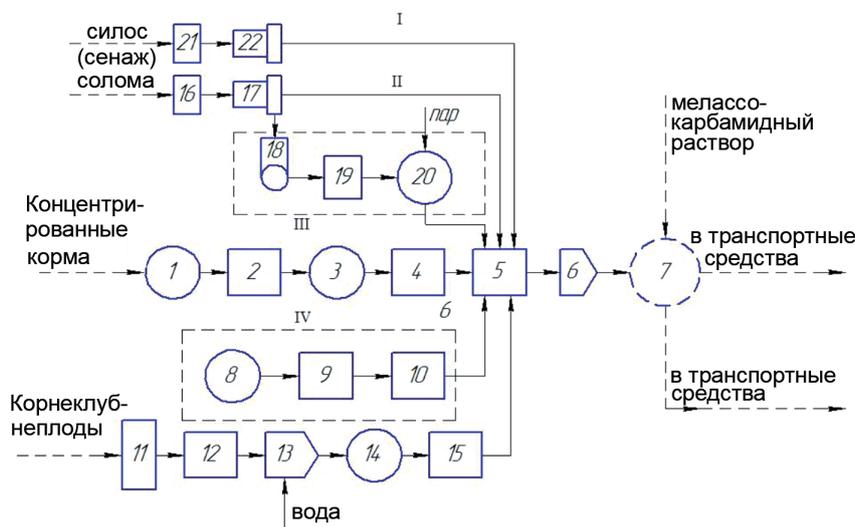
Не менее актуальным является вопрос обоснования рациональной вместимости бункеров поточных линий дозирования. К настоящему времени обобщенного материала по научному обоснованию вместимости всех типов бункеров, применяемых в поточных линиях дозирования (бункеры-накопители исходных компонентов, оперативные бункеры дозаторов, бункеры-накопители готовой продукции и др.) в специальной литературе не обнаружено. Цель данной публикации – устранить имеющийся пробел.

Важнейшее условие обеспечения непрерывной стабильной работы различных поточных технологических линий и графика выдачи качественной готовой продукции – правильный расчет и выбор параметров всех технологических бункеров и в первую очередь их объема.

Рассмотрим данный вопрос на примере комплекта оборудования рассыпных кормосмесей кормоцеха КОРК-15-5, представляющего собой многопоточную технологическую линию со сходящимися потоками подачи концентрированных кормов, соломы, силоса или сенажа, корнеклубнеплодов, воды, пара и мелассо-карбамидного раствора (рисунок 1). Линии имеют гибкую связь между элементами и работают без резервирования.

### Вместимость бункеров исходного сырья

Разнообразие видов, физико-механических свойств и химического состава сырья, хранящегося на производственном предприятии, обуславливает большое количество типов складских сооружений. Наиболее совершенными для хранения насыпных материалов являются склады



I – линия силоса (сенажа); II – линия соломы; III – линия концентрированных кормов; IV – линия корнеклубнеплодов

1, 8 – бункеры-накопители концентрированных кормов; 2, 10, 12 – транспортеры; 3, 14 – регулирующие бункеры дозаторов; 4, 9, 15 – дозаторы; 5 – сборный транспортер; 6 – смеситель; 7 – бункер-накопитель готовой продукции; 11 – накопитель-питатель корнеклубнеплодов; 13 – измельчитель корнеклубнеплодов; 16, 21 – накопители-питатели соломы и сенажа; 17, 22 – транспортеры-дозаторы; 18 – измельчитель соломы; 19 – реактор; 20 – бункер для термообработки соломы

Рисунок 1. – Структурная схема поточной линии приготовления кормовых смесей на базе комплекта КОРК-15-5

бункерного типа. Они позволяют полностью механизировать процесс загрузки и выгрузки сырья, занимают меньше места, обеспечивают возможность хранения продукта высокой насыпью, предупреждают смешивание материала; кроме того, они дешевле складов амбарного типа. При строительстве таких хранилищ используются индивидуальные методы, широко применяются детали и элементы заводского изготовления.

Исходными данными для расчета вместимости складов бункерного типа служат проектная производительность предприятия, установленный ассортимент кормов и принятая схема технологического процесса.

Объем хранилища бункерного типа  $V_X$  ( $m^3$ ):

$$V_X = \frac{kQn}{\gamma\varphi_3},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий долю того или иного компонента в смеси;  $Q$  – суточная производительность предприятия,  $m$ ;  $n$  – период, на который рассчитан запас сырья, сут.;  $\gamma$  – плотность сырья,  $m/m^3$ ;  $\varphi_3$  – расчетный коэффициент заполнения бункера.

Средние расчетные значения коэффициента  $k$  для некоторых видов сырья следующие: зерно – 0,8; отруби – 0,08; травяная мука – 0,04; жмыхи (шрот) – 0,05; соль – 0,01 [2].

Общий объем хранилища определяют как сумму объемов для отдельных компонентов.

Из условий быстрой окупаемости капитальных вложений и сохранности продукта целесообразно строить сблокированные хранилища и накопители с запасом: корнеплодов – на полторы нормы месячного расхода, концентратов – на три-пять норм суточного потребления и грубых кормов – в пределах двух норм суточного расхода. Силос и жом желательно подавать в накопители-питатели непосредственно из хранилищ стационарными средствами.

Суточная потребность в кормах определяется по формулам.

Потребная вместимость ( $m^3$ ) бункеров исходного сырья, устанавливаемых в технологических линиях дозирования [3]

$$V = \frac{Qt}{n'\gamma\varphi_3 \cdot 60}, \quad (1)$$

где  $Q$  – максимальная производительность машины или группы машин, установленных после бункера-накопителя,  $m/ч$ ;  $t$  – среднее время простоя машины или группы машин, установленных до бункера-накопителя,  $ч$ ;  $n'$  – число параллельно работающих машин.

### Расчет объема регулирующих наддозаторных бункеров

Регулирующие бункеры дозирующих устройств предназначены для накопления и хранения минимального объема корма, необходимого для обеспечения непрерывной работы технологической линии и сглаживания неравномерности потока материала, подаваемого загрузочными устройствами. Неправильно выбранный объем бункера в случае несогласованности графиков поступления и выдачи материала может привести к нарушению ритма поточной технологической линии и к снижению качества конечного продукта. Заниженный объем не обеспечивает непрерывную подачу материала на следующие участки, а завышенный приведет к удорожанию дозирующей установки, вызовет увеличение размеров строительной части цеха. Поэтому вопрос выбора объема наддозаторного бункера является не только технической, но и экономической задачей.

Выбор объема бункера зависит от места расположения дозирующей установки по отношению к остальному технологическому оборудованию линии. В сельскохозяйственном производстве в настоящее время действуют технологические линии дозирования с расположением дозирующей установки по двум схемам: 1) в стороне от линии сбора и смешивания исходных компонентов; 2) над сборным конвейером.

В первом случае бункер выполняет одновременно и роль накопителя исходного сырья. Необходимый объем определяется по формуле (1).

Оптимальный объем бункера должен обеспечить минимум приведенных затрат при функционировании данного звена технологической линии. Приведенные затраты в этом случае определяют по общепринятой методике.

Объем бункера зависит от производительности и типа поточной линии, формы организации труда, допустимой продолжительности периода хранения корма.

Объем регулирующего бункера в поточной технологической линии дозирования материала может быть различным. Это различие обусловлено интенсивностью подачи корма в бункер и выдачи из него.

В общем случае известны три варианта [4, 5]: 1) интенсивность загрузки бункера больше интенсивности расхода ( $g_n > g_p$ ); 2) интенсивность загрузки бункера и расхода примерно равны ( $g_n \approx g_p$ ); 3) интенсивность загрузки бункера меньше интенсивности расхода ( $g_n < g_p$ ).

Основным требованием при составлении поточных технологических линий является увязка всего оборудования по производительности. Это значит, что производительность предыдущей машины должна быть равна производительности последующей. Однако такое условие не всегда может быть выполнено при составлении поточных линий дозирования материалов, так как производительность дозатора изменяется в широких пределах в зависимости от рациона, а также из-за отсутствия машин необходимой производительности. Например, при составлении линии дозирования корнеклубнеплодов в кормоцехе на базе оборудования КОРК-15, производительность которого 15  $m^3/ч$ , используют измельчитель ИКМ-5, производительность которого достигает 7  $m^3/ч$ , а максимальное количество корнеклубнеплодов, вводимых в кормосмесь, согласно данным зоотехнической науки, составляет 30 %, то есть максимальная производительность дозатора корнеклубнеплодов будет равна 4,5  $m^3/ч$ . Следовательно, имеем вариант  $g_n > g_p$ . В этом случае объем продукта на одно кормление пройдет через участок подачи (измельчающую машину) за меньшее время, чем через участок выдачи (дозатор). При таком условии необходимая минимальная вместимость регулирующего бункера

$$V_{b\min} = V_k - V_\phi, \quad (2)$$

где  $V_k = M_n / Z_k \gamma$  – объем компонента, необходимого на одно кормление,  $m^3$ ;  $V_\phi = g_n t_n$  – объем компонента, проходящий через дозатор за время рабочего цикла приготовления смеси, на одно кормление,  $m^3$ ;  $M_n$  – суточный расход корма (компонента), определяемый по формулам,  $m$ ;  $Z_k$  – кратность кормления;  $g_n = Q_g / \gamma$  – интенсивность расхода,  $m^3/ч$ ;  $t_n = M_n / Q_n Z_k$  – продолжительность приготовления кормовой смеси на одно кормление,  $ч$ ;  $Q_g$ ,  $Q_n$  – производительность дозатора и подающей машины,  $m^3/ч$ .

Подставив значения  $V_k$  и  $V_\phi$  в равенство (2), получим:

$$V_b = \frac{M_n}{Z_k \gamma} \left( 1 - \frac{Q_g}{Q_n} \right). \quad (3)$$

Производительность дозатора зависит от фактической производительности цеха  $Q_\phi$ , общего количества кормосмеси на одно кормление  $G_{k.c.}$  и количества компонента  $G_k$ , вводимого в кормосмесь:

$$Q_g = \frac{G_k}{G_{k.c.}} Q_\phi. \quad (4)$$

Фактическая сменная производительность цеха  $Q_\phi$  зависит от расчетной, количества приготовляемых рационов, числа операторов и определяется по следующей схеме:

$$Q_\phi = \frac{Q_p}{\eta_N}, \quad (5)$$

где  $Q_p$  – расчетная суточная производительность цеха,  $m$ ;  $\eta_N$  – коэффициент снижения производительности на переналадке дозаторов, связанный с изменением кормосмеси.

В свою очередь,

$$Q_p = T \cdot \eta_p Q, \quad (6)$$

где  $T$  – продолжительность работы цеха в сутки, ч;  $\eta_p$  – коэффициент использования рабочего времени смены;  $Q$  – номинальная производительность цеха, установленная исходя из паспортных показателей оборудования, при постоянном рационе (без переналадки дозаторов) за час чистого времени.

Коэффициент

$$\eta_N = \frac{T}{T - t_\Sigma P_n},$$

где  $t_\Sigma$  – суммарное время переналадки дозаторов, ч;  $P_n$  – количество переналадок в смену.

Так как

$$t_\Sigma = \frac{t_g \cdot n_g}{m}, \text{ а } P_n = Z_k \cdot n_p,$$

где  $t_g$  – время переналадки одного дозатора, ч;  $n_g$  – количество дозаторов;  $Z_k$  – количество кормлений в сутки  $n_p$ ; – количество рационов;  $m$  – количество операторов,

то

$$\eta_N = \frac{T}{T - Z_k n_p \frac{t_g \cdot n_g}{m}}. \quad (7)$$

Подставляя значения  $Q_p$  и  $\eta_N$  по формулам соответственно (6) и (7) в равенство (5), получаем:

$$Q_\phi = Q \cdot \eta_p \left( T - Z_k n_p \frac{t_g n_g}{m} \right). \quad (8)$$

Второй вариант ( $g_n \approx g_p$ ) иногда имеет место в технологических линиях, работающих в постоянном режиме и состоящих из оборудования со средней производительностью на загрузке бункера, примерно равной средней производительности дозатора. Этот вариант может быть также при последовательной работе двух дозаторов, один из которых выполняет функции питателя и грубо дозирует материал, а второй – дозирует более точно. Здесь бункер дозатора служит как бы демпфером, сглаживающим неравномерность подачи материала.

Отклонения производительности питателя по массе или объему от среднего значения, как известно, носят случайный характер и распределяются по нормальному закону. Поэтому объем бункера может быть определен исходя из анализа отклонений, получаемых путем отбора проб.

На практике для подачи материала в бункеры применяют чаще всего скребковые или прутковые транспортеры. Работа этих устройств характеризуется дискретной (порциями) подачей материала по времени. Интервал подачи отдельных порций зависит от количества скребков (прутков), их линейной скорости и коэффициента заполнения межскребкового объема.

Дисперсия подачи материала такими транспортерами в бункер дозатора

$$D_{\Sigma n} = \frac{T_y}{\tau} D_n, \quad (9)$$

где  $T_y$  – время рабочего цикла линии (машины), ч;  $\tau$  – время подачи порции материала одним скребком, ч;  $D_n$  – дисперсия подачи.

$$D_n = \frac{v^2}{10^4} m_n^2, \quad (10)$$

где  $m_n$  – средняя масса порции материала, подаваемого одним скребком, кг;

$$m_n = \frac{G_k}{T_y} \tau, \quad (11)$$

где  $G_k$  – количество компонента, перерабатываемого за рабочий цикл линии (машины), т;  $v$  – коэффициент вариации отдельных порций.

Подставляя выражение (11) в равенство (10), а затем в (9), получим

$$D_{\Sigma n} = \frac{v^2 \tau}{10^4 \gamma T_u} G_k^2.$$

Среднее квадратическое отклонение всей суммы массы порций

$$\sigma_{\Sigma n} = \sqrt{D_{\Sigma n}} = \frac{v}{100} G_k \sqrt{\frac{\tau}{T_u}}.$$

Амплитуда колебаний в интервале  $\pm 3\sigma_{\Sigma n}$

$$A_{\Sigma n} = 6\sigma_{\Sigma n} = 0,06v G_k \sqrt{\frac{\tau}{T_u}},$$

а объем бункера определится из следующего выражения:

$$V_{\delta} = 0,06v \frac{G_k}{\gamma} \sqrt{\frac{\tau}{T_u}}. \quad (12)$$

Если подача материала в бункер дозатора задана непрерывной функцией времени (например, подача осуществляется ленточным транспортером-питателем), дисперсия отдельных порций

$$D_n = 2 \int_0^{\tau} (\tau - t_k) k_x(t) dt,$$

где  $t_k$  – интервал корреляции;  $k_x(t)$  – корреляционная функция подачи.

Дальнейшая последовательность определения объема регулирующего бункера аналогична приведенной.

Однако определение вместимости наддозаторного бункера по формуле (12) будет достаточно точным при условии равенства средней интенсивности подачи и расхода, что осуществить практически для длительного процесса совместной работы питателя и дозатора не представляется возможным. В этом случае согласование работы питателя и дозатора должно осуществляться с помощью дополнительных механических устройств с элементами автоматики.

Для третьего варианта ( $g_n < g_p$ ), следуя аналогичным первому варианту рассуждениям, получим формулу минимального геометрического объема бункера:

$$V_{\delta} = \frac{M_n}{Z_k \gamma} \left( 1 - \frac{Q_n}{Q_g} \right).$$

### Методика расчета объема накопительных бункеров готовой продукции

В сельскохозяйственном производстве используются поточные технологические линии, преимущество которых по сравнению с дискретными: более высокая производительность, ниже удельная металло- и энергоемкость оборудования, меньше габариты, более компактная строительная часть.

Нормальное функционирование поточных технологических линий зависит от согласования потоков кормов как на входе, так и на выходе. Их объемы обусловлены массой корма, обрабатываемого за цикл непрерывной работы линии, соотношением производительности потоков, статическими характеристиками и другими факторами.

Наличие накопительных бункеров готовой продукции – необходимое условие работы технологической линии по непрерывному циклу. Однако в ряде технологических линий бункеры-накопители готовой продукции не предусматриваются. Например, они отсутствуют в кормоцехах КОРК-15, КУ-2, КЦК-5 по приготовлению рассыпных кормосмесей для КРС и овец. Проектировщики предполагают, что непрерывность работы линии будет обеспечена путем ритмичной подачи транспортных или кормораздаточных мобильных средств. Допустим, что такое условие будет соблюдаться, хотя на практике это маловероятно. Вместе с тем на отъезд загружаемого

транспортного средства и на подъезд порожнего требуется какое-то время. В данный промежуток поточная технологическая линия, работающая с большой производительностью, выдает готовый продукт на землю, поэтому оператор, как правило, выключает оборудование. При этом нарушается не только непрерывность, но и установившийся режим, что отрицательно сказывается на самом оборудовании и на качестве продукции.

Объем накопительного бункера готовой продукции обосновывают исходя из экспертных оценок. Критерием величины объема является принцип «незаполнения» бункера. В результате закладывают в проект такой полезный объем, который в любых условиях гарантирует выполнение этого принципа и, более того, обеспечивает некоторый резерв.

Увеличенный объем накопительного бункера требует более энергоемкого транспортера, его сооружение и ремонт обходятся дороже по сравнению с малым бункером. Заниженный объем приводит к его переполнению, забиванию оборудования и потерям корма.

Предположим, что известны фактическое время загрузки транспортных средств, работающих на отвозке готовой продукции, а также интенсивность подачи транспорта.

Чтобы избежать непроизводительного простоя первого транспортного средства, подошедшего к бункеру, необходимо иметь некоторый минимальный запас корма в бункере. Этот запас должен быть несколько меньше объема кузова машины, так как во время загрузки цех работает с производительностью, равной часовой производительности бункера.

Введем следующие обозначения:  $V_k$  – объем кузова транспортного средства,  $m^3$ ;  $V_{\delta \min}$  – минимальный начальный запас материала в бункере,  $m^3$ ;  $Q_{k,u}$  – средняя интенсивность поступления материала в бункер (производительность цеха),  $m^3/ч$ ;  $t_3$  – время загрузки транспортного средства из бункера,  $ч$ .

Объем корма в кузове машины после загрузки состоит из двух частей: минимального начального объема  $0 < V_{\delta \min} < V_k$  в бункере и того количества, которое добавится за время загрузки в результате работы участка приготовления с интенсивностью

$$V_k = V_{\delta \min} + Q_{k,u} t_3, \quad (13)$$

откуда минимальный запас корма в бункере

$$V_{\delta \min} = V_k - Q_{k,u} t_3.$$

При этом подразумевается, что интенсивность выгрузки корма из бункера в машину равна или больше интенсивности поступления корма в бункер.

Определим частоту подъезда  $\lambda$  транспортных средств к бункеру таким образом, чтобы на конечном промежутке времени можно было реализовать стремление к «незаполнению» бункера. Это означает, что корм, поступающий в бункер с интенсивностью  $Q_{k,u}$ , должен выгружаться из него в среднем с таким же расходом. Поскольку объем кузова машины ограничен, к бункеру надо подавать вполне определенное количество транспортных средств в единицу времени.

Это условие формально запишется следующим образом:

$$Q_{k,u} = \lambda V_k = \lambda (V_{\delta \min} + Q_{k,u} t_3),$$

откуда

$$\lambda = \frac{Q_{k,u}}{V_{\delta \min} + Q_{k,u} t_3}. \quad (14)$$

Следует подчеркнуть, что принцип «незаполнения» бункера легко распространяется и на бункер, в котором уже есть некоторый объем корма, то есть когда  $V_0 \neq 0$ . Этот принцип остается в силе для любого незаполненного объема  $V - V_0$  бункера. Здесь  $V$  – его полезный объем.

Согласно формуле (14), практически можно влиять только на величину  $\lambda$ , поскольку интенсивность подачи корма в бункер и объем кузова транспортного средства – величины постоянные (в конкретных условиях).

Увеличение численного значения  $\lambda$  по сравнению с рассчитанным по формуле (14) приведет к очереди машин у бункера, а уменьшение численного значения  $\lambda$  – к переполнению бункера. Однако это не означает, что колебание  $\lambda$  в ту или в другую сторону недопустимо. Уменьшение численного значения  $\lambda$  возможно в течение некоторого промежутка времени, причем этот максимальный промежуток, который мы обозначим  $\tau_1$ , тем короче, чем больше соотношение  $\frac{Q_{k.u.}}{V - V_0}$ , то есть справедливо равенство

$$\frac{1}{\tau_1} = \frac{Q_{k.u.}}{V - V_0},$$

откуда

$$V = Q_{k.u.}\tau_1 + V_0. \quad (15)$$

Начальный запас корма в бункере может быть равным нулю. Однако с целью сокращения времени загрузки транспортного средства желательно обеспечить некоторый минимальный запас. Величина запаса может быть определена из уравнения (13). С учетом этого уравнения соотношение (15) будет выглядеть следующим образом:

$$V = Q_{k.u.}(\tau_1 - t_3) + V_k. \quad (16)$$

По формуле (16) и надо рассчитать объем накопительного бункера. Но если входящие в формулу величины  $Q_{k.u.}$ ,  $t_3$ ,  $V_k$  практически легко найти для каждого конкретного случая, то величина  $\tau_1$  носит случайный характер. Для ее определения необходимо составить предварительную выборку из множества чисел, характеризующих интервал времени между двумя последовательными подходами транспортных средств к бункеру в течение длительного периода, затем найти по этой выборке среднее арифметическое  $\tau_1$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  и подставить в уравнение (16) вместо  $\tau_1$  выражение  $\tau_1 \pm 3\sigma$ .

Попадание в интервал  $\tau_1 \pm 3\sigma$  гарантировано с надежностью, равной  $P = 0,9973$ . При этом имеется в виду, что дисперсия случайной величины  $Q_{k.u.}$  существенно меньше дисперсии случайной величины  $\tau_1$ .

Правило трех сигм приемлемо до тех пор, пока дополнительные затраты, связанные с перестраховкой, сравнительно невелики, что имеет место при проектировании накопительных бункеров сельскохозяйственных поточных технологических линий.

Следует подчеркнуть, что нас интересует не просто выход значений случайной величины из заданного доверительного интервала, а выход только в одну сторону, что должно интерпретироваться как переполнение бункера.

Для определения минимально возможного доверительного интервала строят кривую нормального распределения (рисунок 2):

$$P(\tau_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\tau_1 - \tau)^2 / 2\sigma^2}.$$

Незаштрихованная часть графика – это вероятность попадания в трехсигмовый или какой-либо другой заданный интервал. Заштрихованные участки – это вероятность выхода за пределы интересующего нас интервала. Если незаштрихованная часть рисунка – графическое изображение вероятности  $P$ , то каждый из незаштрихованных участков – это графическое изображение вероятности  $(1 - P)/2$ , а сумма  $(1 - P)/2 + P + (1 - P)/2$  – площадь под всей кривой. Поскольку нас интересует возможность переполнения бункера, соответствующая вероятность равна  $\frac{1 - P}{2}$ .

Если оценку среднего квадратического отклонения обозначить  $S$ , для доверительного интервала  $3S$  надежность при числе элементов в выборке, равном 50, составит 0,996, а не 0,9973. Для доверительного интервала  $2S$  при тех же условиях  $P = 0,995$ , а вероятность риска, который нас интересует,

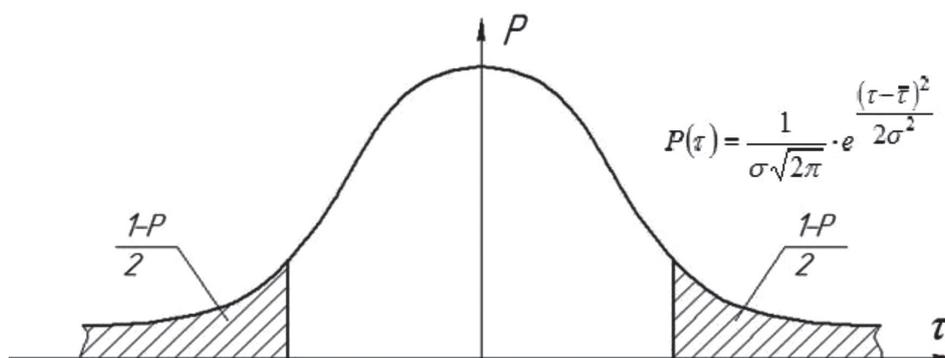


Рисунок 2. – К определению минимально возможного доверительного интервала

$$\frac{1-P}{2} = \frac{1-0,995}{2} = 0,0025.$$

Таким образом, уравнение (16) можно записать в виде

$$V = Q_{k,u}(\tau_1 + 2S - t_3) + V_k. \quad (17)$$

Из формулы (17) следует, что при постоянной производительности линии чем больше время между последующими подходами к бункеру транспортных средств, их вместимость и неравномерность подхода, тем больший требуется объем накопительного бункера. Увеличение времени загрузки транспортных средств снижает необходимую его вместимость.

#### Обоснование вместимости бункеров, применяемых в поточных линиях по повышению питательной ценности кормов

*Вместимость бункера грубых кормов в поточной линии приготовления прессованных кормосмесей.* Бункер измельченных грубых кормов в технологической линии ЛОС-1 [4] установлен между энергоемким оборудованием, обеспечивающим прием, измельчение исходного компонента ЛИС-3, сушилкой АВМ-1,5 и оборудованием для прессования кормов ОПК-2. Специфика данного оборудования заключается в относительной длительности достижения установленного режима работы и больших токовых нагрузках при его запуске. Поэтому всякая остановка любой отдельной машины или линии в целом крайне нежелательна.

В связи с этим бункер должен выполнять функции:

- накопления материала в случае отказа пресса, создавая тем самым безостановочную работу сушилки или линии измельчения;
- обеспечения запуска пресса накопленным материалом при одновременном пуске сушилки и пресса, когда поступление материалов от сушилки незначительно;
- аккумулятора, обеспечивающего возможность равномерной подачи материала в пресс, независимо от варьирования секундной подачи материала из сушилки от линии измельчения.

Очевидно, что обоснование объема бункера, исходя из его функционального назначения, является важной задачей.

Резервный объем бункера, обеспечивающий безостановочную работу агрегата, можно выбрать исходя из того, что накопленный в результате одного отказа пресса материал расходуется (в случае одинаковой производительности сушилки или линии измельчения и пресса) в период отказа сушильного агрегата. На основании статистических данных установлено, что суммарное время восстановления после отказов пресса и сушилки приблизительно равно, а наполнение и разгрузка бункера происходит циклично. Тогда резервный объем бункера высчитываем по формуле:

$$V_{рез} = kQ_c t_{np} / \gamma + V_0,$$

где  $V_{рез}$  – резервный объем бункера,  $m^3$ ;  $Q_c$  – производительность сушильного агрегата,  $m^3/ч$ ;  $k$  – коэффициент повторности отказов пресса;  $t_{np}$  – среднее время восстановления после отказа

пресса,  $\gamma$  – плотность материала  $t/m^3$ ;  $V_0$  – минимальный объем материала, необходимый для нормальной работы дозатора ( $V_0 \approx 1,5 - 2 \text{ м}^3$ ).

В расчетах принимают  $t_{np}$  равным 0,3 ч (протокол № 15-5-82 Государственных испытаний линии для обработки соломы содой ЛОС-1, Литовская МИС, 1982). По расчетам в приведенной формуле резервный объем бункера (для линии производительностью 1,51–2 т/ч) равен 12–14  $\text{м}^3$ .

*Вместимость наддозаторного бункера линии термохимической обработки соломы.* В результате специальных исследований, проведенных совместно с БелНИИЖ, установлены оптимальное соотношение химического реагента и соломы, температура нагрева и время ее выдержки, обеспечивающие максимальное повышение питательности соломы при наименьших энергетических затратах [4, 5]. Данные результаты исследований положены в основу разработки новой технологии термохимической обработки соломы в потоке и комплекта оборудования для ее осуществления [6, 7].

Комплект оборудования позволяет реализовать технологию в виде отдельной (автономной) линии, а также в составе оборудования кормоцехов по приготовлению полнорационных рассыпных кормосмесей крупному рогатому скоту.

Важнейшей машиной комплекта, определяющей качество обработки соломы и энергетические затраты, является вертикальный бункер-дозатор (камера) для нагрева, выдержки и дозированной выдачи соломы, обработанной термохимическим способом. Устройство камеры аналогично наддозаторному бункеру, применяемому в поточной линии получения прессованных кормов. Отличительной особенностью ее является наличие системы парораспределения, обеспечивающей быстрый нагрев всей соломы в камере.

Очевидно, что при заданной производительности линии соблюдение технологического регламента полностью зависит от объема и вместимости камеры. Вместимость камеры должна определяться с учетом применения линии (автономно или в составе кормоцеха), способа загрузки (пневматический или механический), а также с учетом предварительного подогрева соломы или без него.

Для случая применения поточной линии термохимической обработки соломы в работе нами рекомендовано определять объем камеры по выражению:

$$V_{км} = \frac{Q_{изм} \cdot t_0}{k_3 \cdot \gamma},$$

где  $Q_{изм}$  – производительность измельчителя соломы, т/ч;  $t_0$  – требуемое время выдержки соломы при заданной температуре, ч;  $k_3$  – коэффициент заполнения камеры.

В разработанной нами камере  $k_3$  практически равен единице. Это достигается путем применения цепного выравнивателя массы, закрепленного в верхней части вала побудителя.

Для случая применения линии в составе кормоцехов В. И. Передня [5] предлагает вместимость термокамеры определять с учетом повышения питательной ценности соломы по выражениям:

$$V_{км} = \frac{Q_k \cdot \tau_{км} \cdot \beta_k}{\gamma \cdot k_3 (a_e + 3 \cdot 10^{-3} \tau_e)} \quad (\text{при } \tau_e = 0 - 30 \text{ мин});$$

$$V_{км} = \frac{Q_k \cdot \tau_{км} \cdot \beta_k}{\gamma \cdot k_3 (a_e + 3 \cdot 10^{-3} \tau_e^{-0,5})} \quad (\text{при } \tau_e = 30 - 90 \text{ мин}),$$

где  $Q_k$  – производительность кормоцеха т/ч;  $\beta_k$  – максимальная доля соломы в составе рациона;  $a_e$  – питательность соломы до обработки;  $\tau_e$  – время выдержки соломы при заданной температуре, ч;  $\tau_{км}$  – время обработки соломы, ч.

## Литература

1. Степук, Л. Я. Научные основы проектирования поточных технологических линий приготовления полидисперсных сельскохозяйственных материалов / Л. Я. Степук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2011. – Вып. 45. – С. 36–60.
2. Производство комбикормов и кормовых смесей в колхозах и совхозах / Л. И. Кролл [и др.]. – М.: Колос, 1982. – С. 114.
3. Сыроватка, В. И. Программа и методические рекомендации по созданию цехов и поточных линий для приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, И. С. Марычева. – М.: ВИЭСХ, 1973. – С. 9.
4. Степук, Л. Я. Механизация получения и применение многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л. Я. Степук. – Минск: Ураджай, 1990. – 311 с.
5. Передня, В. И. Механизация приготовления полноценных кормосмесей на поточных линиях для эффективного использования кормов на скотоводческих фермах: дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Передня. – Минск, 1984. – 244 л.
6. Передня, В. И. Линия термохимической обработки соломы / В. И. Передня, Л. Я. Степук, В. А. Мартынов // Проблемы разработки технологии и оборудования индустриального кормопроизводства: тез. докл. науч.-техн. конф. – Вильнюс, 1981. – С. 119–121.
7. Установка для термохимической обработки соломы: а.с. 912135 СССР, МПК А23N 17/00 (2000.01) / В. И. Передня, Л. Я. Степук, Р. П. Гашка, Ю. К. Гаспарюнас, В. А. Мартынов, В. А. Жабко, К. К. Сивакова, В. С. Сыманович; ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР, Головной экспериментально-конструкторский институт по машинам для переработки травы и соломы. – № 2993465; заявл. 08.10.1980; опубл. 15.03.1982 // Открытия. Изобрет. – 1982. – № 10. – 7 с.

УДК 631.31/356(633.49:635–153)

Поступила в редакцию 30.06.2018  
Received 30.06.2018

**В. В. Голдыбан, И. А. Барановский**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: labpotato@mail.ru*

### **К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА МАШИН ДЛЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В статье описывается ситуация в свекловичной отрасли с технической оснащённостью уборки сахарной свеклы, указываются перспективы ее дальнейшего развития.

*Ключевые слова:* свеклоуборочный комбайн, ботвоудалитель, сахарная свекла, средства механизации, уборка, производительность механизированных работ.

**V. V. Goldyban, I. A. Baranovsky**

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: labpotato@mail.ru*

### **TO THE JUSTIFICATION OF THE TYPE OF MACHINES FOR HARVESTING SUGAR BEET IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

The article describes the situation in the beet industry with the technical equipment of sugar beet harvesting, the prospects for its further development.

*Keywords:* beet harvester, defoliator, sugar beet mechanization cleaning, the performance of the mechanized works.

## **Введение**

Возделыванием сахарной свеклы в Беларуси занимается 378 сельскохозяйственных организаций на площади 101,5 тыс. га. Средняя площадь посева на одно хозяйство составляет 260 га. Валовой сбор превышает 4,9 млн тонн. По оценке специалистов концерна «Белгоспищепром», это позволило не только в полном объеме обеспечить внутренние потребности страны в сахаре,