

В статье приводится теоретическое обоснование продолжительности созревания зерновых культур от восковой до полной спелости. В результате созревания происходит изменение качественных показателей зерна. Исходя из динамики изменения качественных показателей зерна предлагается оптимизация сроков проведения уборочного процесса.

В результате созревания зерновых культур от восковой до полной спелости происходят биологические изменения качественных показателей зерна: всхожести, содержания клейковины и массы зерна. При достижении зерновых культур фазы полной спелости качественные показатели зерна увеличиваются до наибольшего своего значения, после чего данные показатели начинают снижаться, если не будет произведен их обмолот.

Продолжительность созревания от восковой до полной спелости зерна характеризуется как процесс испарения влаги, который зависит от метеорологических факторов и определяется из следующего выражения [4]:

$$\tau_{\text{нóф}} = \frac{\ln \omega_i - \ln \omega_e}{\dot{a}_1 + \hat{a}_1 \sum_{i=1}^{\tau_1} T_i \cdot \sum_{i=1}^{\tau_1} \varphi_i} (1 + \beta) \quad (1)$$

где $\tau_{\text{нóф}}$ – продолжительность сушки зерна на корню и в валках от восковой до полной фазы спелости, дн.;

$\omega_{\text{н}}$ – начальная относительная влажность зерна, соответствующая фазе восковой спелости, $\omega_{\text{н}} = 35-40\%$;

$\omega_{\text{к}}$ – конечная относительная влажность зерна, соответствующая фазе полной спелости, $\omega_{\text{к}} = 15-20\%$;

a_1, b_1 – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально (табл.1);

τ_1 – средняя продолжительность созревания зерна от восковой до полной фазы спелости в валках и на корню, характерная для зоны, дн.;

φ_i – среднесуточная относительная влажность воздуха за i -й день созревания зерна от восковой до полной фазы спелости, %;

β – вероятность дождливых дней в период созревания зерна от восковой до полной фазы спелости.

$$\beta = \frac{1}{\tau_{\text{нóф}}} \sum_{i=1}^{\tau_{\text{нóф}}} \beta_i, \quad (2)$$

где β_i – вероятность выпадения осадков за i -ый день.

$$\beta_i = \frac{n_i}{n}, \quad (3)$$

где n_i – число лет с осадками более двух миллиметров в i -ый день созревания зерна от восковой до полной фазы спелости;

n – число лет по которым имеются сведения метеостанции (не менее 20 лет).

Таблица 1

Значение коэффициентов a_1 и b_1 при созревании зерна в валках и на корню[4]

Условия созревания зерна	Коэффициент	
	a_1	b_1
В валках типа жатки ЖШН-6	0,102	0,567
В валках типа жатки ЖВН-6А	0,033	0,676
На корню	-0,016	0,473

Однако определение продолжительности созревания зерна на корню от восковой до полной спелости, в зависимости от изменения его влажности, было бы более точным

при учете количества выпавших осадков за этот период.

Исходя из этого, определение продолжительности созревания зерна на корню от восковой до полной спелости предлагается с

учетом выражения (1) и количества выпавших осадков и испарившейся влаги [3] из следующего выражения:

$$\tau_{\bar{n}\delta}^{\varepsilon} = \ln(\omega_i - \omega_{\varepsilon})(1 + \beta)e^{I + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} H_{\bar{n}i}}{0.18(25 + T_{\bar{n}\delta})^2 - \Phi_{\bar{n}\delta}}}, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{суш}}^{\text{к}}$ – продолжительность сушки зерна на корню от восковой до полной фазы спелости, дн;

$T_{\bar{n}\delta}$ – среднесуточная температура воздуха в период созревания зерна от восковой до полной спелости, $^{\circ}\text{C}$;

$\Phi_{\bar{n}\delta}$ – среднесуточная влажность воздуха в период созревания зерна от восковой до полной фазы спелости, %;

$H_{\bar{n}i}$ – количество выпавших осадков в i -ый день созревания зерна на корню от восковой до полной фазы спелости, мм.

Так как при уборке зерновых культур происходит отклонение фактических от агротехнических сроков, то целесообразным является выявление закономерностей изменения качественных показателей зерна в процессе созревания от фазы восковой до полной спелости и дальнейшего их нахождения на корню.

Планируемый доход от уборки зерновых культур за счет изменения всхожести, массы и содержания клейковины зерна в зависимости от продолжительности созревания и дальнейшего их нахождения после наступления фазы полной спелости на корню, начиная с i -го момента, можно представить в виде следующего выражения:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\text{сi}} = \sum_{i=1}^{\tau} Q_{\text{ii}} + \sum_{i=1}^{\tau} U_{\text{ai}} + \sum_{i=1}^{\tau} U_{\text{ei}}, \quad (5)$$

где τ – продолжительность нахождения зерновых культур на корню в период и после созревания от восковой до полной фазы спелости, дн;

U_{ai} – величина изменения доплаты за зерно в i – день его нахождения на корню с учётом всхожести, р./га;

U_{ki} – величина доплаты за зерно зерновых культур в i - день нахождения их на корню с учётом его хлебопекарных качеств, р./га.

Максимальное значение результирующего показателя планируемого дохода от уборки за счет изменения всхожести, содер-

жания клейковины и массы зерна ($\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\text{zi}}$) в

зависимости от продолжительности созревания и дальнейшего нахождения его после наступления фазы полной спелости на корню характеризует оптимальные сроки уборки зерновых культур прямым комбайновым способом.

На основании вышеизложенного планируемый доход от уборки зерновых культур, учитывающий изменения величины всхожести зерна в зависимости от продолжительности созревания и дальнейшего нахождения их после наступления фазы полной спелости

на корню ($\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\text{vi}}$), определяется из следующего выражения:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\text{ai}} = \sum_{i=1}^{\tau} U_{\text{ai}} + U_0 \hat{O}_i, \quad (6)$$

где U_i – урожайность зерна зерновых культур в i – день нахождения их на корню, т/га;

U_0 – цена зерна без учёта доплаты за имеющийся процент всхожести и содержание клейковины, р./т.

$$\sum_{i=1}^{\tau} U_{\text{ai}} = \lambda_{\hat{a}} \left(\sum_{\hat{a}_{\min} + \Delta B_i}^{\hat{a}_{\max} - \Delta B_i} \hat{A}_i - \hat{A}_{\min} \right) U_0, \quad (7)$$

где $\lambda_{\hat{a}}$ – величина изменения нормы высева зерновых культур от изменения всхожести зерна, т/га %;

B_i – процент всхожести зерна в определённый i -момент времени при созревании от восковой до полной фазы спелости и дальнейшем его нахождении на корню, %;

B_{\min} – зерно, имеющее некондиционную всхожесть, $B_{\min} \leq 90\%$ [2].

После достижения зерном максимального значения всхожести происходит его снижение. Снижение и увеличение показателя всхожести происходит на величину ΔB до определенного i -го значения, зависящего от продолжительности уборки зерновых культур на корню.

В зависимости от процента всхожести зерна зерновых культур при его посеве изменяется норма высева. Исходя из этого предлагается величину, характеризующую изменения нормы высева зерна зерновых культур от изменения его процента всхожести определить из следующего выражения:

$$\lambda_{\hat{a}} = \frac{H_{max} - H_{min}}{B_{max} - B_{min}}, \quad (8)$$

где H_{max} , H_{min} – соответственно, максимальная и минимальная норма высева семян, т/га;

B_{max} – зерно, имеющее максимальный процент всхожести, %.

Выражение (7) с учетом выражения (8) примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{\tau} U_{\hat{a}i} = \frac{H_{max} - H_{min}}{B_{max} - B_{min}} \left(\sum_{min+\Delta B_i}^{max-\Delta B_i} B_i - B_{min} \right) U_0 \quad (9)$$

Выражение (6) с учётом выражения (9) после преобразования примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\hat{a}i} = U_0 \left[\frac{H_{max} - H_{min}}{B_{max} - B_{min}} \left(\sum_{min+\Delta B_i}^{max-\Delta B_i} B_i - B_{min} \right) + \hat{O}_i \right], \quad (10)$$

Основными составляющими урожайности зерна (Y_i) убираемой культуры является масса 1000 зёрен, густота посева и число зерен на стебле, то есть урожайность зерна убираемой культуры можно представить в виде следующей зависимости:

$$Y = f(n_z, n_c, M), \quad (11)$$

где n_z – число зёрен на стебле, з/ст;

n_c – число стеблей на 1 м², ст/м²;

M – масса 1000 зёрен, г.

Для любого вида и сорта сельскохозяйственной культуры диапазон изменения этих величин находится в определенных количественных соотношениях, а их произведение есть величина урожайности (Y_i) зерновых культур:

$$Y_i = 0,00001 n_z n_c M_i, \quad (12)$$

где M_i – масса 1000 зёрен в i -ый момент времени созревания зерновых культур на корню, г.

В выражении (13) все величины с момента восковой спелости являются постоянными, кроме массы 1000 зерен. В зависимости от продолжительности созревания зерновых культур, согласно исследованиям [1] масса 1000 зерен изменяется, следовательно, изменяется и урожайность. Причем после достижения максимального значения массы 1000 зерен при дальнейшем нахождении зерновых культур на корню происходит ее снижение. Снижение и увеличение массы 1000 зерен происходит на величину ΔM до определенного i -го значения зависящего от продолжительности уборки зерновых культур на корню. Следовательно, массу 1000 зёрен в i -ый момент времени созревания зерновых культур на корню (M_i) можно представить в

следующем виде с учётом вышеизложенного

$$(M_i = \sum_{min+\Delta M_i}^{max-\Delta M_i} M_i).$$

Планируемый доход от уборки зерновых культур, учитывающий изменение массы 1000 зерен в зависимости от продолжительности созревания и дальнейшего их нахождения после наступления фазы полной спелости на корню, может быть представлен в виде следующего выражения:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{ii} = 10^{-5} n_z n_c U_0 \sum_{min+\Delta M_i}^{max-\Delta M_i} \dot{I}_i. \quad (13)$$

Одним из показателей, влияющих на стоимость зерна, является содержание в нём клейковины. Чем выше содержание клейковины в зерне, тем выше его стоимость. Однако в процессе созревания зерновых культур происходит изменение содержания клейковины в зерне. Изменение содержания клейковины в зерне в процессе созревания от восковой до полной фазы спелости и при дальнейшем его нахождении на корню протекает аналогичным образом, что и при изменении всхожести и массы зерна.

Планируемый доход от уборки зерновых культур, учитывающий изменение содержания клейковины в зерне, в зависимости от продолжительности созревания зерновых культур от восковой до полной фазы спелости и дальнейшего их нахождения на корню определяется из выражения

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\hat{e}i} = \sum_{i=1}^{\tau} U_{\hat{e}i} + \hat{O}_i U_0, \quad (14)$$

где $\sum_{i=1}^{\tau} U_{\hat{e}i}$ – доплата, учитывающая содержание клейковины в зерне в i -ый день нахождения зерновых культур на корню, р./га.

Так как содержание клейковины в зерне в процессе созревания зерновых культур на корню изменяется, то доплата, учитывающая содержание клейковины в зерне в i -ый день их нахождения на корню, определяется из выражения:

$$\sum_{i=1}^{\tau} U_{\hat{e}i} = \sum_{min}^{max} \Delta U_{\hat{e}} \hat{O}_i, \quad (15)$$

где $\Delta U_{\hat{e}}$ – величина, учитывающая изменение доплаты за содержание клейковины в зерне, р./т.

$$\sum_{min}^{max} \Delta U_{\hat{e}} = \sum_{min}^{max} U_{\hat{e}} - U_0. \quad (16)$$

Доплата за содержание клейковины в зерне устанавливается в каждом субъекте федерации соответствующим нормативно-правовым документом. С учётом этого условия выражение (15) примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{\tau} U_{\hat{e}i} = \left(\sum_{\min}^{\max} U_{\hat{e}} - U_0 \right) \hat{O}_i, \quad (17)$$

Выражение (14) с учетом выражений (12), (16) и (17) после преобразования примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\hat{e}i} = 10^{-5} n_{\zeta} n_c \sum_{\min+\Delta M_i}^{\max-\Delta M_i} M_i \sum_{\min}^{\max} U_{\hat{e}} \quad (18)$$

Планируемый доход от уборки зерновых культур за счет изменения всхожести, содержания клейковины и массы 1000 зерен в зависимости от продолжительности созревания и дальнейшего его нахождения после наступления фазы полной спелости на корню, выражение (5), с учётом выражений (9), (13), (14) и (18), после некоторых преобразований, примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{\tau} Q_{\hat{e}i} = \left(U_0 \frac{H_{\max} - H_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}} \left(\sum_{\min+\Delta B_i}^{\max+\Delta B_i} B_i - B_{\min} \right) + 10^{-5} n_{\zeta} n_{\bar{n}} \sum_{\min+\Delta M_i}^{\max+\Delta M_i} \hat{I}_i \right) + \sum_{\min}^{\max} U_{\hat{e}} - U_0. \quad (19)$$

Зависимость (18) определения общих доходов от изменения всхожести, содержания клейковины и массы 1000 зерен, образующихся в процессе созревания от восковой до полной фазы спелости и дальнейшего нахождения зерновых культур на корню, позволяет графоаналитическим методом определить сроки начала и оптимальное количество дней уборки комбайновым способом напрямую.

Прямое комбайнирование считается целесообразным проводить в период фазы полной спелости при наибольших значениях всхожести, содержания клейковины и массы зерна.

Уборку зерновых культур отдельным комбайновым способом рекомендуется начинать в период фазы восковой спелости при наличии незначительного количества зерна полной спелости, так как считается, что в это время практически прекращается поступление питательных веществ в зерно из стебля.

Продолжительность проведения отдельного комбайнового способа уборки зерновых культур с учетом выше изложенного и выражения (19) определяется из следующего выражения:

$$\tau_{\hat{d}\hat{o}} = \tau_{\hat{n}\hat{o}\hat{\phi}}^{\hat{e}} - \tau_{\hat{i}\hat{o}}, \quad (20)$$

где $\tau_{\hat{d}\hat{o}}$ – продолжительность проведения отдельного комбайнового способа уборки зерновых культур, дней;

$\tau_{\hat{i}\hat{o}}$ – продолжительность проведения уборки зерновых культур комбайновым способом напрямую, дней.

Выражение (20) с учетом выражения (4), где продолжительность уборки зерновых культур прямым комбайнированием ($\tau_{\text{пу}}$) определяется из выражения (19), примет следующий вид:

$$\tau_{\hat{d}\hat{o}} = \ln(\omega_i - \omega_{\hat{e}}) (I + \beta) e^{I + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} \hat{I}_{\hat{n}i}}{0.18(25 + T_{\hat{n}\hat{o}})^2 - \varphi_{\hat{n}\hat{o}}} - \tau_{\hat{i}\hat{o}}}, \quad (21)$$

При отдельном комбайновом способе уборки зерновых культур количество дней подбора с обмолотом валков сокращается на продолжительность сушки их в валках от фазы восковой до полной спелости. Продолжительность сушки зерна зерновых культур в валках определяется из выражения (1) в зависимости от типа жатки, сформировавшей валки. Следовательно, продолжительность обмолота валков зерновых культур с учетом вышеизложенного и выражения (21) определяется из следующего выражения:

$$\tau_{\hat{i}\hat{a}} = \ln(\omega_i - \omega_{\hat{e}}) \times \left(I + \beta \right) e^{I + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} \hat{I}_{\hat{n}i}}{0.18(25 + T_{\hat{n}\hat{o}})^2 - \varphi_{\hat{n}\hat{o}}} - \tau_{\hat{i}\hat{o}} - \tau_{\hat{n}\hat{o}\hat{\phi}}^{\hat{a}}}, \quad (22)$$

$\tau_{\hat{i}\hat{a}}$ – продолжительность обмолота валков зерновых культур, дн;

$\tau_{\hat{n}\hat{o}\hat{\phi}}^{\hat{a}}$ – продолжительность сушки зерна зерновых культур в валках, дн.

Продолжительность скашивания зерновых культур в валки ($\tau_{\hat{n}\hat{a}}$) принимается такая, что и при проведении отдельного комбайнового способа уборки ($\tau_{\hat{d}\hat{o}} = \tau_{\hat{n}\hat{a}}$).

При уборке зерновых культур прямым комбайнированием после наступления периода, когда всхожесть, содержание клейковины и масса 1000 зерен примет наибольшее свое значение происходит снижение этих показателей. При снижении этих показателей потери будут увеличиваться, которые с учетом выражений (9), (13) и (17) можно представить в следующем виде:

$$P_{\hat{a}} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}} (B_{\max} - B_{\min}) U_0, \quad (23)$$

$$D_i = 10^{-5} n_c n_c U_0 (\dot{I}_{max} - \dot{I}_i), \quad (24)$$

$$D_{\hat{e}} = \sum_{min}^{max} U_{\hat{e}} - U_0, \quad (25)$$

где P_b, P_k, P_m – потери от изменения соответственно всхожести, содержания клейковины и массы зерна р./га;
 V_{max} – максимальное значение всхожести зерна убираемой культуры, %;
 M_{max} – максимальная величина массы 1000 зерен, г.
 Так как накопление и снижение биологического урожая, посевных и хлебопечкарных качеств зерна протекает под действием внешних факторов, то интенсивность изменения данных показателей до и от максимального значения принимаем одинаковым. Следовательно, средняя интенсивность снижения массы 1000 зерен, после достижения её максимального значения определяется из следующего выражения:

$$\xi_{\bar{n}\delta i} = \frac{M_{max} - M_{min}}{\tau_{\bar{n}\delta i}^{\hat{e}}}, \quad (26)$$

где $\xi_{срм}$ – средняя интенсивность снижения массы 1000 зерен после достижения ею максимального значения, г/дн.;

M_{min} – минимальная величина массы 1000 зерен, г.

С учетом выражения (5) выражение (26) примет следующий вид:

$$\xi_{\bar{n}\delta i} = \frac{M_{max} - M_{min}}{I + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} H_{\bar{n}i}}{0.18(25 + T_{\bar{n}\delta})^2 - \Phi_{\bar{n}\delta}}}, \quad (27)$$

$$\ln(\omega_i - \omega_{\hat{e}})(I + \beta)e$$

Аналогичным образом определяется средняя интенсивность снижения всхожести и содержания клейковины зерна, после достижения им своего максимального значения

$$\xi_{\bar{n}\delta\hat{a}} = \frac{V_{max} - V_{min}}{I + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} H_{\bar{n}i}}{0.18(25 + T_{\bar{n}\delta})^2 - \Phi_{\bar{n}\delta}}}, \quad (28)$$

$$\ln(\omega_i - \omega_{\hat{e}})(I + \beta)e$$

$$\xi_{\bar{n}\delta\hat{e}} = \frac{K_{max} - K_{min}}{I + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} H_{\bar{n}i}}{0.18(25 + T_{\bar{n}\delta})^2 - \Phi_{\bar{n}\delta}}}, \quad (29)$$

$$\ln(\omega_i - \omega_{\hat{e}})(I + \beta)e$$

где $\xi_{\bar{n}\delta\hat{a}}, \xi_{\bar{n}\delta\hat{e}}$ – средняя интенсивность изменения соответственно процента всхожести зерна, %/дн.;

K_{min}, K_{max} – соответственно минимальное и максимальное значения содержания клейковины в зерне, %.

Величина массы 1000 зерен и процента его всхожести на корню в i -ый день уборки прямым комбайнированием после достижения им максимального значения определяется из следующего выражения:

$$M_i = \xi_{\bar{n}\delta i} \tau_i, \quad (30)$$

$$V_i = \xi_{\bar{n}\delta\hat{a}} \tau_i, \quad (31)$$

$$K_i = \xi_{\bar{n}\delta\hat{e}} \tau_i, \quad (32)$$

где τ_i – продолжительность уборки после наступления максимального значения массы 1000 зерен, всхожести и содержания клейковины, дн.

$$\tau_i = t_i - t_i', \quad (33)$$

где t_i – дата проведения в i -ый день уборки зерновых культур прямым комбайновым способом;

t_i' – дата, при которой наступили максимальные значения всхожести, содержания клейковины и массы 1000 зерен.

При снижении содержания клейковины в зерне до 23% и ниже доплата за её не производится, что необходимо учитывать при расчётах в определении возможных потерь от его содержания в зерне (P_k).

Выражения (23) и (24) с учётом выражений (27), (28), (30) и (31) примут следующий вид:

$$P_{\hat{a}} = \frac{H_{max} - H_{min}}{V_{max} - V_{min}} (V_{max} - \xi_{\bar{n}\delta i} \tau_i) U_0; \quad (34)$$

$$D_i = 10^{-5} n_c n_c U_0 (\dot{I}_{max} - \xi_{\bar{n}\delta i} \tau_i). \quad (35)$$

Суммарные потери из-за снижения всхожести, содержание клейковины и массы 1000 зерен ($P_{\hat{e}}$) в результате уборки зерновых культур после достижения ими на корню наибольшего своего значения определяется из следующего выражения:

$$P_{\hat{a}} = P_{\hat{a}} + P_i + P_{\hat{e}}. \quad (36)$$

Выражение (36) с учётом выражений (34) и (35) после преобразования примет следующий вид:

$$D_a = U_0 \left[\frac{H_{max} - H_{min}}{B_{max} - B_{min}} (B_{max} - \xi_{\bar{n}\bar{\delta}a} \tau_i) + \right. \\ \left. + 10^{-5} n_{\xi} n_c (M_{max} - \xi_{\bar{n}\bar{\delta}i} \tau_i) + \sum_{min}^{max} U_{\hat{e}} - U_0 \right]. \quad (37)$$

Потери от изменения всхожести, содержания клейковины и массы зерна из-за отклонения фактических от оптимальных сроков уборки зерновых культур происходит по многим причинам. Одной из таких причин считаются изменения погодноклиматических условий в период проведения уборочного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруков, В.И. Технологии уборки зерновых колосовых культур в Амурской области [Текст] / В.И. Безруков. – Благовещенск: Благовещенский сельскохозяйственный институт. 1992. – 132 с.
2. ГОСТ 10467-76. Семена пшеницы. Сортовые и посевные качества [Текст].– Взамен ГОСТ 10467-63; введ. 01.01.77. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 16 с.
3. Жалнин, Э.В. Новое в уборке зерновых и трав на семена [Текст] / Э.В. Жалнин. – М.: Издательство «Знание», 1986. – 164 с.
4. Чепурин, Г.Е. Технологическое обеспечение комбайновой уборки зерновых культур [Текст] / Г.Е. Чепурин. – М.: Издательство «Россельхоздат», 1987. – 143 с.