

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ ПОСЕВА САХАРНОЙ СВЁКЛЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ

Казаров Ким Рубенович¹
Черников Виталий Александрович¹
Лукина Ирина Кимовна²
Бартенев Игорь Иванович³
Солдатов Юрий Игоревич¹

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

³Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы
и сахара имени А.Л. Мазлумова

В последние годы в России и за рубежом урожайность сахарной свёклы достигла 500 ц/га. При принятой стандартной однострочной схеме посева с шириной основных междурядий 45 см максимальное количество корнеплодов составляет 110–120 тыс. шт./га. Дальнейшее повышение продуктивности возможно за счёт изыскания более продуктивных схем посева. С целью совершенствования существующей технологии выращивания сахарной свёклы проанализированы двухстрочные схемы посева 30 + 45, 22,5 + 45 и 15 + 45 см, для реализации которых рассмотрены варианты размещения секций на раме сеялки и возможности составления агрегата с универсально-пропашным трактором. В исследуемых схемах изменяли одну из сторон ширины междурядья в поперечном направлении относительно рядка при постоянном значении второй и оценивали зависимость относительной массы корнеплода в функции площади питания. Разработана имитационная модель, выполнен расчёт числовых характеристик и продуктивности предложенных схем загущенного посева. Получена зависимость относительного увеличения массы корнеплода при изменении одной из сторон междурядья, учитывающая интенсивность использования корнеплодом площади питания. Определена расчётная урожайность сахарной свёклы для схем посева 30 + 45, 22,5 + 45 и 15 + 45 см в трёх вариантах учёта корнеплодов с минимальной массой более 100, 200 и 250 г. Установлено, что при схеме посева 15 + 45 см максимальная расчётная урожайность в среднем на 2,4% выше, чем при схеме 22,5 + 45 см. Соседние строки в схеме 15 + 45 см можно засеивать с помощью одной секции, оснащённой делителем потока семян, для составления агрегата используют трактор семейства МТЗ с шириной колеи 180 см. Для посева соседних строк по схеме 22,5 + 45 см необходимы две секции и наличие трактора с шириной колеи 135 см.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарная свёкла, схемы посева, норма высева, площадь питания, масса корнеплода, расчётная урожайность.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SUGAR BEET PLANTING SCHEMES ON THE CROP PRODUCTIVITY

Kazarov Kim R.¹
Chernikov Vitaly A.¹
Lukina Irina K.²
Bartenev Igor I.³
Soldatov Yuri I.¹

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

³A. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar

In recent years the yield of sugar beet in Russia and abroad has reached 500 c/ha. In the adopted conventional single-row planting scheme with the width of the main row spacing of 45 cm the maximum number of tubers is 110–120 thousand pcs/ha. A further increase in productivity is possible by finding more productive planting schemes. In order to improve the existing technology of growing sugar beet, double-row planting schemes of 30 + 45, 22.5 + 45, and 15 + 45 cm were analyzed. For their implementation the authors have considered the options for mounting the sections on the planter toolbar and the possibility of creating an aggregate with a universal tractor. In the studied schemes the authors changed one of the sides of row spacing in the transverse direction relative to the row at a constant value of the second side and assessed the dependence of the relative tuber weight as a

function of the feeding area. A simulation model has been developed and the numerical characteristics and productivity of the proposed schemes of thick planting have been calculated. The authors have obtained a dependence of the relative increase in tuber weight from the change in one of the sides of row spacing taking into account the intensity of use of the feeding area by the tuber. The authors have also determined the estimated yield of sugar beet for the planting schemes of 30 + 45, 22.5 + 45, and 15 + 45 cm in three variants of accounting for tubers with the minimum weight of more than 100, 200, and 250 g. It was found that the maximum estimated yield is on average 2.4% higher in the 15 + 45 cm planting scheme than in the 22.5 + 45 cm scheme. Adjacent rows in the 15 + 45 cm scheme can be sown using a single section equipped with a seed flow divider. In order to create an aggregate, a tractor of the MTZ family with a 180 cm track gauge is used. Sowing of adjacent rows according to the 22.5 + 45 cm scheme requires two sections and a tractor with a 135 cm track gauge.

KEYWORDS: sugar beet, planting schemes, seeding rate, feeding area, tuber weight, estimated yield.

Введение
Основной целью любой сельскохозяйственной деятельности, связанной с выращиванием растений, является получение высоких урожаев, что зависит от множества факторов: свойств почвы, выбора сортов или гибридов растений, способов обработки почвы перед посевом, способов предпосевной обработки семян, правильного применения технологий возделывания культур и др. Увеличение урожайности можно представить как контролируемый процесс, которым можно управлять, в частности применяя передовые технологии, современные образцы производительной техники, а также накопленный опыт ведения сельского хозяйства.

Как известно, в России и за её пределами сахарную свёклу высевают по стандартной однострочной схеме 45 + 45 см с шириной основных междурядий 45 см. При высевае семян по данной технологии максимальная густота корнеплодов сахарной свёклы составляет 110–120 тыс. шт./га [10, 13, 14], а урожайность достигает 500 ц/га и более [2, 16]. Обеспечить прирост урожайности можно путём увеличения количества корнеплодов на единице площади поля за счёт изыскания новых, рациональных схем загущенного посева, при этом критерием оценки правильности выбора технологических параметров сева должна служить урожайность корнеплодов, зависящая от нормы высева семян и равномерности размещения семян и растений вдоль борозды [1].

В принятой в России однострочной схеме 45 + 45 см близкое расположение растений в рядке приводит к их взаимному угнетению и, как следствие, снижению урожайности [6]. Для размещения на поле большего количества рационально распределённых корнеплодов исследователи предлагают к реализации схемы загущенного посева, основанные на уменьшении ширины междурядья: 30 + 45, 22,5 + 45 и 15 + 45 см [3, 4, 9, 11]. При внедрении данных схем следует учитывать удобство расстановки секций на раме серийно выпускаемых сеялок, условия работы культиваторов в период ухода за растениями и машин при уборке корнеплодов.

Результаты и их обсуждение

Для обоснования технологических параметров схем посева принимаем, что расстояние между крайними секциями у получившей наибольшее распространение двенадцатирядной сеялки при ширине междурядий 0,45 м составляет 4,95 м.

Возможные варианты расстановки посевных секций на раме сеялки по предлагаемым схемам представлены на рисунке 1.

При использовании схем посева 22,5 + 45 и 30 + 45 см соседние посевные секции располагаются не в один ряд, а с продольным смещением друг относительно друга по ходу движения агрегата, что требует дополнительных затрат на переоборудование сеялки. Двухстрочная схема посева 15 + 45 см может быть реализована одной секцией, оснащенной делителем потока семян. Поэтому из предлагаемых схем посева сахарной свёклы наиболее приемлемой для составления агрегата является схема 15 + 45 см. При реализации данной схемы сеялка будет располагаться симметрично относительно трактора, его колея составит 180 см, аналогично стандартной схеме посева (45 + 45 см).

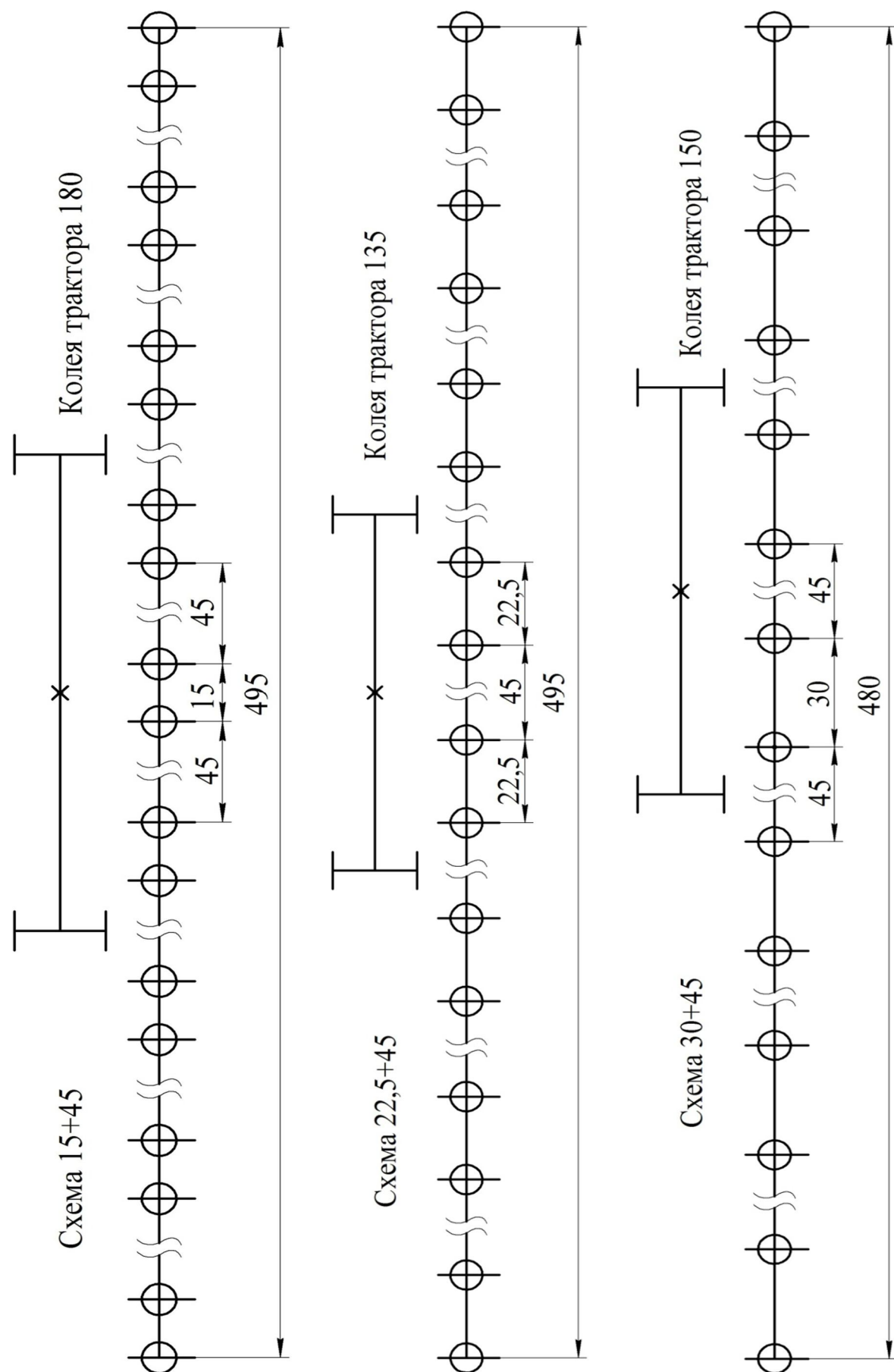


Рис. 1. Схемы загущенного посева семян сахарной свеклы (размеры даны в см)

При реализации схемы $22,5 + 45$ см сеялка также симметрично располагается относительно трактора, но ширина его колеи в данном случае составит 135 см, что делает невозможным использование трактора МТЗ-80 для агрегатирования. Из третьей схемы видно, что сеялка относительно трактора, имеющего ширину колеи 150 см, будет располагаться несимметрично, поэтому возможно ухудшение управляемости посевного агрегата.

В настоящее время не в полной мере изучены различные схемы посева, поэтому важно провести дополнительные теоретические исследования для обоснования влияния уменьшения одной из сторон ширины междурядья на интенсивность использования растением площади питания. Анализ схем загущенного посева посвящены работы многих ведущих учёных [4, 5, 7, 8, 12, 14, 17], которые отмечают увеличение урожайности сахарной свёклы при уменьшении одной из сторон ширины междурядья.

Авторами разработана имитационная модель технологии возделывания сахарной свёклы для моделирования процессов высева семян и вегетации растений с целью получения высоких урожаев корнеплодов (рис. 2).

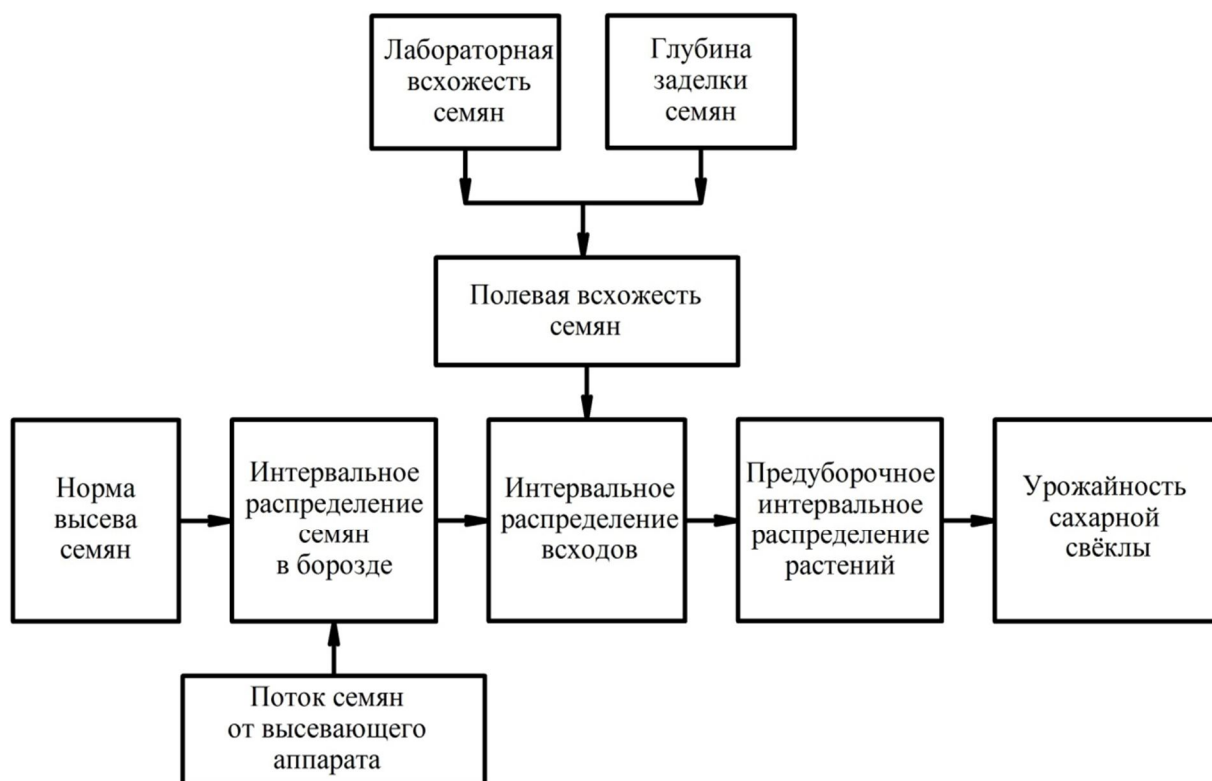


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели технологии возделывания сахарной свёклы

Представленная модель позволяет учесть:

- влияние нормы высева и преобразования исходного потока семян высевающим аппаратом на точность распределения семян по дну борозды;
- влияние равномерности глубины заделки, лабораторной и полевой всхожести на равномерность интервалов между всходами;
- влияние изреживания растений в процессе вегетации на интервальное распределение растений перед уборкой.

При этом используя предлагаемую модель можно также определить массу корнеплодов в зависимости от сочетания интервалов до соседних растений и суммарную расчётную урожайность сахарной свёклы с 1 гектара при различных исследуемых схемах посева.

Масса корнеплода сахарной свёклы в зависимости от сочетания интервалов определяется выражением [7]

$$G_1 = G_{\max} \cdot [1 - 0,5 \cdot (e^{-0,5 \cdot x_1 \cdot \lambda(x_1)} + e^{-0,5 \cdot x_2 \cdot \lambda(x_2)})], \quad (1)$$

где x_1 и x_2 – интервалы соответственно до и после расчётного корнеплода перед уборкой, см.

При этом

$$\begin{aligned} \lambda(x_1) &= (1 - e^{-0,5 \cdot x_1 \cdot \lambda_{\max}}) \cdot \lambda_{\max}; \\ \lambda(x_2) &= (1 - e^{-0,5 \cdot x_2 \cdot \lambda_{\max}}) \cdot \lambda_{\max}, \end{aligned} \quad (2)$$

где λ_{\max} – максимальная интенсивность, определяемая из условия, что растения практически не угнетают друг друга при расстоянии 50 см, $\lambda_{\max} = 0,14$, что соответствует вероятности 0,99.

С уменьшением одной из сторон по ширине междурядья происходит уменьшение массы корнеплода по сравнению со стандартной шириной 45 см (схема 45 + 45 см). Поэтому авторы предлагают при расчёте массы корнеплодов в зависимости от сочетания интервалов в рядке учесть влияние уменьшения одной из сторон ширины междурядья и интенсивность использования площади питания по сравнению со стандартной схемой посева.

По нашим исследованиям двухстрочный посев семян сахарной свёклы до ширины междурядья 15 см можно произвести одним высевальным аппаратом, снабженным делителем потока, в то время как для схем посева 22,5 + 45 и 30 + 45 см для этой цели необходимы два высевальных аппарата.

Исходя из условий схемы посева, интенсивности использования корнеплодом прилегающей к нему площади питания в процессе вегетации определены зависимости увеличения массы корнеплода при увеличении одной стороны ширины междурядья при постоянной второй, равной 45 см [14, 15].

Получена зависимость относительного увеличения массы корнеплода при изменении одной из сторон междурядья (рис. 3).

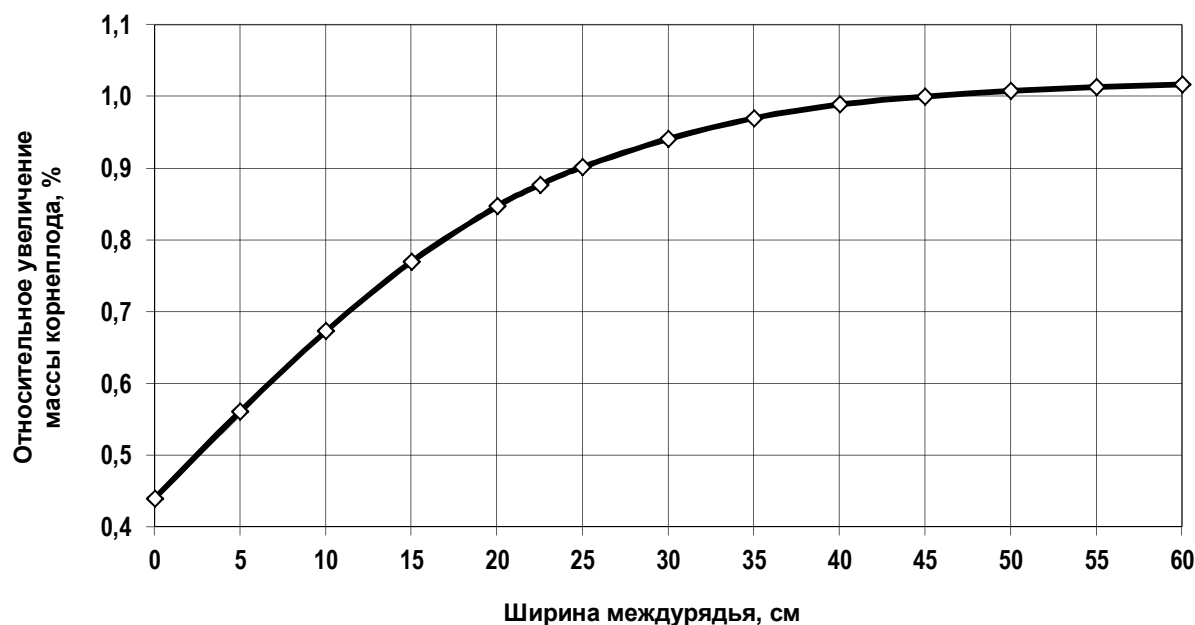


Рис. 3. Увеличение массы корнеплода сахарной свёклы при увеличении одной стороны междурядья при постоянной второй стороне, равной 45 см

На рисунке 3 видно, что интенсивность использования площади питания корнеплодом сахарной свёклы фактически прямо пропорциональна увеличению стороны варьируемого междурядья до 15 см. В дальнейшем приращение массы корнеплода снижается, и при стандартной ширине 45 см интенсивность достигает 100%. Так, при увеличении одной стороны междурядья от 15 до 22,5 см масса корнеплода увеличивается на 13,9%, при увеличении в интервале от 22,5 до 30 см интенсивность накопления массы корнеплода возрастает на 7,3%, в последующем при увеличении одной стороны от 30 до 45 см масса корнеплода увеличивается всего на 6,3%.

Как отмечалось ранее, при ширине междурядья до 15 см (схема 15 + 45 см) возможно укладывать семена в шахматном порядке одним высевальным аппаратом (при высевах по другим схемам такое расположение семян обеспечить практически невозможно). В этом случае расстояние между семенами, расположенными в соседних строках, увеличится, и это значение можно определить из прямоугольного треугольника со сторонами b_0 и $0,5 \cdot x_1$ по выражению

$$b_{\text{отн}} = \sqrt{b_0^2 + (x_1/2)^2}, \quad (3)$$

где b_0 – исходная ширина междурядья, см;

x_1 – заданный интервал между семенами, см.

Тогда накопление массы корнеплода до значения ширины междурядья 15 см будет происходить более интенсивно за счёт увеличения площади питания, в остальном диапазоне характер зависимости не изменяется (рис. 4).

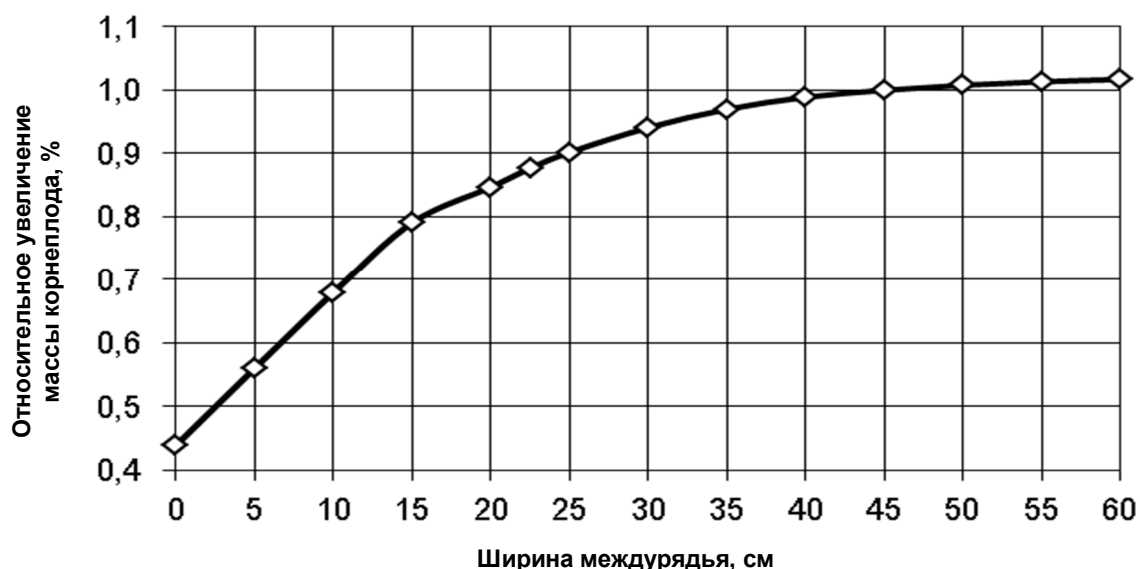


Рис. 4. Увеличение массы корнеплода сахарной свёклы при увеличении одной стороны междурядья при постоянной второй стороне, равной 45 см (до ширины междурядья 15 см семена расположены в шахматном порядке)

В таблице 1 приведены значения увеличения массы корнеплода при увеличении одной из сторон междурядья по предлагаемым схемам посева (рис. 1).

Таблица 1. Интенсивность увеличения массы корнеплода при увеличении одной из сторон междурядья

Показатель	15 + 45 см	22,5 + 45 см	30 + 45 см	45 + 45 см
Интенсивность увеличения массы корнеплода, %	79,1	87,7	94	100

Для последующего расчёта урожайности сахарной свёклы при изменении одной из сторон междурядья необходимо определить среднюю ширину междурядья по следующей формуле [6]:

$$b_{\text{ср}} = \frac{n_1 \cdot b_1 + b_c + n_2 \cdot b_2}{n_1 + n_2 + 1}, \quad (4)$$

где b_1 – ширина междурядья, принятая при стандартной технологии возделывания сахарной свёклы, $b_1 = 0,45$ м;

b_2 – ширина рекомендуемого междурядья, отличающегося от стандарта, м;

b_c – ширина стыкового междурядья, м (при расчетах размер стыкового междурядья принимался равным b_1);

n_1 – количество стандартных междурядий шириной 45 см;

n_2 – количество рекомендуемых междурядий с шириной соответственно 15, 22,5 и 30 см.

В результате расчётов по выражению (4) определены числовые показатели предлагаемых схем посева (табл. 2).

Таблица 2. Числовые показатели предлагаемых расчётных схем посева сахарной свёклы

Схема посева, см	Количество междурядий при максимальной ширине рамы 4,95 м		Количество рядков	Средняя ширина междурядья, м
	стандартных	предлагаемых		
45 + 45	11	-	12	0,450
30 + 45	6	7	14	0,386
22,5 + 45	7	8	16	0,338
15 + 45	8	9	18	0,300

По выражениям (1) и (2) проведены расчёты урожайности сахарной свёклы по трём вариантам, в которых учитывали корнеплоды с минимальной массой соответственно 100, 200 и 250 г.

На рисунке 5 представлены зависимости расчётной урожайности от нормы высева семян при различных схемах посева для третьего варианта, в котором учитывали корнеплоды массой более 250 г при интервале между семенами при посеве, равном 12 см, полевой всхожести семян – 80%, точности распределения семян $V = 60\%$.

Анализируя приведённые на рисунке 5 зависимости, можно отметить, что урожайность сахарной свёклы, определённая из условия сбора корнеплодов массой более 250 г, растёт с увеличением нормы высева семян до 10 шт./м, а при дальнейшем увеличении нормы высева – снижается.

Максимум расчётной урожайности получен при схеме посева 15 + 45 см. Схема посева 22,5 + 45 см даёт расчётную урожайность ниже максимальной при всех нормах высева на 2,2–2,5%. Уменьшение урожайности при схеме посева 30 + 45 и 45 + 45 см происходит в диапазонах соответственно 7,0–7,8 и 15,6–15,8%.

Аналогичные зависимости получены при расчёте урожайности и учёте корнеплодов массой более 200 г. При этом рост урожайности наблюдается при увеличении нормы высева до 13 шт./м.

Установлено, что при использовании схем загущенного посева, основанных на уменьшении одной из сторон ширины междурядья, на единице площади поля удаётся разместить наибольшее количество рационально распределённых растений, следовательно, их количество возрастает и в конечном итоге увеличивается сбор корнеплодов и урожайность.

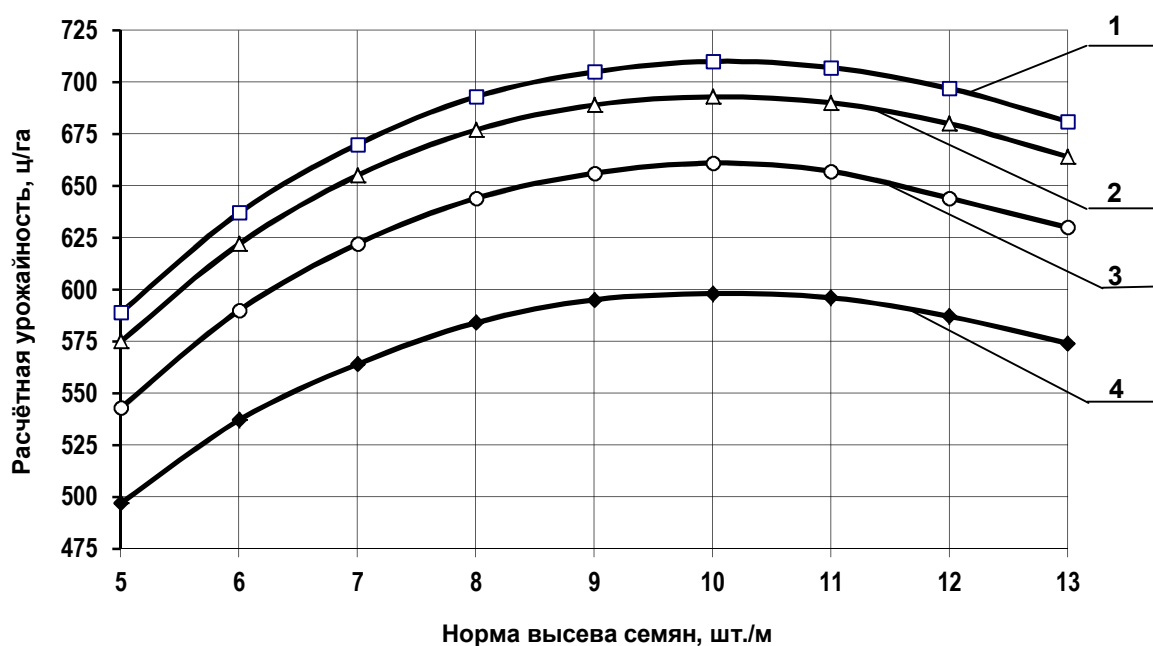


Рис. 5. Урожайность сахарной свёклы в зависимости от нормы высева при различных схемах посева с учётом сбора корнеплодов массой более 250 г: 1 – 15 + 45 см; 2 – 22,5 + 45 см; 3 – 30 + 45 см; 4 – 45 + 45 см

По выходу корнеплодов лучшими схемами посева являются 15 + 45 и 22,5 + 45 см. Однако для составления агрегата по схеме 22,5 + 45 см для посева необходим трактор с шириной колеи 135 см, для высева соседних строк используют две посевные секции, расположенные со смещением вдоль направления движения, в отличие от схемы посева 15 + 45 см, для реализации которой используют универсально-пропашной трактор семейства МТЗ с шириной колеи 180 см, а соседние строки высевают одной секцией с делителем потока семян на две части. Поэтому целесообразно выбирать схему посева 15 + 45 см.

Таким образом, разработанная имитационная модель даёт возможность обосновать числовые характеристики и технологические параметры схем посева семян сахарной свёклы и выбрать наиболее рациональную схему, обеспечивающую требуемую густоту и равномерность размещения растений. Предложенная модель также позволяет количественно оценить влияние данных параметров на урожайность исследуемой культуры.

Библиографический список

1. Василенко В.В. О выборе параметров сева / В.В. Василенко, С.В. Василенко // Сахарная свёкла. – 2007. – № 2. – С. 31–32.
2. ГК «Продимекс» сохранила лидерство на свеклосахарном рынке Воронежской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sugar.ru/node/29434> (дата обращения: 11.01.2020).
3. Забугин В.Ю. Как рационально посеять свёклу / В.Ю. Забугин, А.К. Нанаенко // Сахарная свёкла. – 2000. – № 4–5. – С. 22–23.
4. Зенин Л.С. Выбор ширины междурядий и схем посева / Л.С. Зенин // Сахарная свёкла. – 2008. – № 3. – С. 24.
5. Козлова О.А. Отзывчивость сахарной свёклы на различные схемы посева / О.А. Козлова // Молодой ученый. – 2014. – № 3 (62). – С. 240–342.
6. Корниенко А.В. Зависимость продуктивности свёклы от нормы высева семян и густоты насаждения / А.В. Корниенко, А.К. Нанаенко, В.В. Белых // Доклады РАСХН. – 2000. – № 6. – С. 3–6.
7. Моделирование выхода маточных корнеплодов сахарной свёклы при различных схемах посева / К.Р. Казаров, В.А. Черников, Ю.И. Солдатов, И.К. Лукина // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения: матер. международной науч.-практ. конф., посвящённой 40-летию Белгородского ГАУ (Россия,

г. Белгород, 19 ноября 2018 г.). – п. Майский, Белгородская обл. : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 81–84.

8. Нанаенко А.К. Выбор и обоснование схем посева сахарной свёклы / А.К. Нанаенко, В.Ю. Забугин // Сахарная свёкла. – 2006. – № 2. – С. 8–11.

9. Нанаенко А.К. Выбор способа сева / А.К. Нанаенко, А.В. Курындин // Сахарная свёкла. – 2003. – № 1. – С. 13–14.

10. Нанаенко А.К. Оценка равномерности распределения семян и растений в рядах / А.К. Нанаенко // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. – № 6. – С. 22–23.

11. Нанаенко А.К. Различные схемы сева и площадь поля / А.К. Нанаенко, В.Ю. Забугин // Сахарная свёкла. – 2000. – № 3. – С. 15–16.

12. Никитин А.Ф. Ширина междурядий и продуктивность корнеплодов / А.Ф. Никитин, А.М. Парфенов // Сахарная свёкла. – 2008. – № 10. – С. 30–32.

13. Овсянников В.П. Свекловодство : учеб. пособие / В.П. Овсянников, Ю.С. Колягин, В.М. Воронин. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2000. – 217 с.

14. Оценка площади питания сахарной свёклы имитационным моделированием / К.Р. Казаров, В.В. Василенко, С.В. Василенко, И.К. Лукина // Природопользование, ресурсы, техническое обеспечение : межвузовский сб. науч. тр. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежская ГЛТА, 2000. – С. 159–161.

15. Свиридов В.Д. Площадь питания и продуктивность свёклы / В.Д. Свиридов // Сахарная свёкла. – 1983. – № 7. – С. 24–25.

16. Современные технологии производства сахарной свёклы : рекомендации / А.В. Корниенко и др. – Москва : РАСХН, 2002. – 38 с.

17. Характеристика различных способов выращивания свеклосемян / И.И. Бартенев, Н.А. Усанов, М.В. Кравец, А.Т. Чернышов, В.Е. Миляев // Сахарная свёкла. – 2011. – № 2. – С. 35–38.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Ким Рубенович Казаров – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kim.kazarov.39@mail.ru.

Виталий Александрович Черников – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tsch2000@mail.ru.

Ирина Кимовна Лукина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, г. Воронеж, e-mail: irinakimovna@mail.ru.

Игорь Иванович Бартенев – кандидат технических наук, зав. отделом селекции и семеноводства ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», Россия, Рамонский район, ВНИИСС, e-mail: ibartenev60@gmail.com.

Юрий Игоревич Солдатов – магистрант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: general-soldatov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 19.06.2020

Дата принятия к печати 26.08.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Kim R. Kazarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kim.kazarov.39@mail.ru.

Vitaly A. Chernikov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tsch2000@mail.ru.

Irina K. Lukina, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: irinakimovna@mail.ru.

Igor I. Bartenev, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Selection and Seed Production, A. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Russia, Voronezh Oblast, Ramonsky District, e-mail: ibartenev60@gmail.com.

Yuri I. Soldatov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: general-soldatov@mail.ru.

Received June 19, 2020

Accepted after revision August 26, 2020