

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К АППЛИКАЦИИ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ ПЕСТИЦИДОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

И.С. Крук,

проректор по научной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Широкое применение химических средств защиты растений и постоянно расширяющийся их ассортимент предъявляют возрастающие экологические и агротехнические требования к качеству их внесения. Всестороннее исследование внесения рабочих растворов пестицидов в растениеводстве имеет важное значение при исключении экологических последствий использования средств защиты растений (СЗР), связанных с потерями вследствие испарения и сноса ветром, а также является основой при разработке различных типов распылительных и распределительных устройств, обосновании рациональных конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров сельскохозяйственных опрыскивателей. В статье предложен комплексный подход к внесению СЗР, основанный на всестороннем анализе взаимодействия взаимосвязанных внешних и внутренних факторов при последовательном выполнении этапов подготовки, приготовления и опрыскивания в системе «опрыскиватель – обрабатываемый объект – окружающая среда».

Ключевые слова: пестициды, капля, химическая защита растений, опрыскиватель, агротехнические требования.

The widespread use of chemical plant protection products, along with their ever-expanding range, places increasingly stringent environmental and agronomic requirements for the quality of their application. A comprehensive study of applying pesticide working solutions in crop production is crucial for mitigating the environmental impacts of plant protection products (PPPs) associated with losses due to evaporation and wind drift. It also serves as the foundation for designing various types of spraying and distribution equipment, as well as for establishing rational design, technological, and operational parameters for agricultural sprayers. The article proposes a comprehensive approach to applying plant protection products, based on a thorough analysis of the interactions between related external and internal factors during the sequential stages of preparation, mixing, and spraying within the "sprayer – target object – environment" system.

. Keywords: pesticides, droplet, chemical plant protection, sprayer, agrotechnical requirements.

Введение

Применение средств химизации в растениеводстве является одним из основных условий получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Своевременное и качественное проведение операций защиты растений позволяет сохранить 30...50 % урожая [1-3]. Однако пестициды являются высокотоксичными и опасными для природы и ее обитателей соединениями, необоснованное и нерациональное использование которых, а также некачественное и несвоевременное их внесение могут повлечь дополнительные экономические затраты и экологические последствия. Особенно вредоносным может оказаться несоблюдение доз, некачественное, с большими потерями из-за сноса внесение гербицидов сплошного действия, когда поражаются, угнетаются или погибают растения на соседних полях, не нуждающихся в обработке. Поэтому в современных технологиях возделывания особое внимание уделяется срокам и качеству внесения СЗР с минимальными потерями препаратов.

Термин «апликация» подразумевает нанесение рабочей жидкости (раствора) на почву, растение или вредоносный организм путем опрыскивания (распыления) [2]. Ее основой являются процессы подготовки, распыления и распределения рабочих растворов пестицидов по поверхностям целевого объекта обработки. Основным методом внесения средств защиты в растениеводстве является малообъемное опрыскивание с нормами внесения рабочих растворов пестицидов 50-200 л/га. При этом основными рабочими элементами опрыскивающей аппаратуры, выполняющими дробление жидкости, являются гидравлические распылители различных конструкций и исполнений, при использовании которых образуются полидисперсные факелы распыла с размерами капель 10-600 мкм (коэффициент полидисперсности фракционного состава капель спектра распыла находится в пределах 4-6 в зависимости от типоразмера распылителя и рабочего давления) [4]. При использовании стандартных целевых распылителей образуются капли, медианномассовый диаметр которых составляет 210-270 мкм, а инжекторных – 400-600 мкм. Это оказывает суще-

ственное влияние на закономерности процессов падения, взаимодействия и осаждения капель на целевом объекте, определяет величину их потерь вследствие испарения, сноса воздушными потоками и ветром из зоны обработки и выноса за пределы обрабатываемых участков, стекания и скатывания крупных капель с листьев растений на почву, а, следовательно, и эффективность проводимых операций защиты растений.

Вопросы распыления и осаждения капель различных рабочих жидкостей рассматривались в научных работах Броунштейна Б.И., Вульфа Т., Гордеев О.В., Дмитрачкова В.П., Келбалиева Г.И., Клочкова А.В., Кот Т.П., Лысова А.К., Маркевича А.Е., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Ньютенса Д., Ольшевского В.П., Рогова В.П., Севрикова В.В., Спиридонова Ю.Я., Степука Л.Я., Фишбейна Г.А., Шестакова В.Г. и других. Исследования взаимосвязи факторов, влияющих на процесс аппликации химических СЗР, представлены в исследованиях научного коллектива под руководством Шпаара Д. [2] Однако комплексный подход, позволяющий сформировать целостное представление об аппликации рабочих растворов пестицидов с учетом всех действующих факторов, до конца не реализован.

Цель работы – обосновать комплексный подход к аппликации рабочих растворов пестицидов, основанный на взаимосвязанном воздействии технологических, экономических, экологических и метеорологических факторов, определяющих эффективность операций химической защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

Основная часть

Аппликация является сложной технологией внесения СЗР, состоящей из последовательно выполняемых процессов приготовления рабочих растворов, их распыления, движения воздушно-капельных потоков в окружающей среде, взаимодействия и осаждения на обрабатываемых поверхностях целевых объектов обработки. Качество выполнения каждого этапа (стадии) определяет эффективность достижения конечного результата, которая влияет на количество последующих операций химической защиты растений, объем и экологические свойства конечной продукции.

Стадия 1. Исходная информация. Наличие необходимой начальной информации и исходных данных является основой для получения достоверных результатов на каждом этапе аппликации рабочих растворов пестицидов. При этом определяется целевой объект, его состояние и вид обработки, которые обосновывают выбор пестицидов, их дозу, особенности приготовления рабочих растворов. Важным аспектом является условие совместимости различных препаратов и возможность одновременного их внесения. Агротехникой возделывания определены диаметры капель, при которых тот или иной вид пестицидов наиболее эффективен: для почвенных гербицидов – не более 300 мкм, для гербицидов контактного действия, инсектицидов и фунгицидов – не более 200 мкм. Эффективность применения СЗР определяется своевременностью их внесения, состоянием окружающей

среды и метеорологическими условиями. Последние могут вносить коррективы в сроки проведения технологических операций и определять их качество. Например, при борьбе с некоторыми видами вредителей на последних стадиях их развития эффективная доза препарата может превышать начальную в 100...300 раз. При наличии ветра для снижения величины потерь из-за сноса рекомендуется использовать опрыскиватели с системами воздушного сопровождения капель или устанавливать распылители со сниженным дрейфом или инжекторные. При использовании инжекторных распылителей количество мелких капель в факеле распыла снижается в 2-3 раза (до 4-5 %), что обеспечивает снижение сноса на 75...90 %, а использование опрыскивателей с воздушным сопровождением – на 90...95 % [5]. Совместное использование таких технических решений позволяет усилить данный эффект и обеспечить большую площадь покрытия вследствие додрабливания капель воздушной струей и увеличением энергии их удара о поверхность. Увеличение в два раза скорости воздушной струи во столько же раз уменьшает медианно-массовый диаметр капель. Условия проведения операций химической защиты растений определяют технологические, кинематические и эксплуатационные параметры опрыскивателей.

Стадия 2. Приготовление рабочих растворов. Современные конструкции опрыскивателей оснащены системами приготовления рабочих растворов и обеспечения их требуемой концентрации в процессе внесения. Эффективность их работы определяет концентрацию химических препаратов в получаемых каплях, что оказывает влияние на биологическую эффективность и токсичность обработки. В капле диаметром 20 мкм содержание действующего вещества составляет 0,08 мг, в капле 50 мкм – 1,3 мг, 100 мкм – 10,4 мг, а 300 мкм – 280 мг [2]. Поэтому к поддержанию необходимой концентрации рабочего раствора в процессе внесения предъявляется повышенное требование. Согласно агротехническим требованиям, отклонение концентрации рабочего раствора пестицидов должно находиться в пределах $\pm 5\%$.

Стадия 3. Внесение. Наиболее важным и влияющим на качество выполнения технологических операций защиты растений является этап непосредственного внесения. Именно здесь сказывается существенное влияние состояния окружающей среды, поверхности поля, метеорологических и начальных условий формирования факела распыла на закономерности движения и осаждения капель. Диспергирование жидкости и движение капель в воздушной среде являются сложными взаимосвязанными процессами, закономерности протекания которых определяют большое количество управляемых и неуправляемых взаимосвязанных между собой факторов, оценить степень влияния некоторых из них в полной мере не представляется возможным, как при теоретическом моделировании, так и при проведении экспериментов в лабораторных и полевых условиях. Зачастую их ограничивают, либо ими пренебрегают. Поэтому в

большинстве случаев результаты определения кинематических параметров движения капель и величины потерь рабочих растворов, полученные при теоретических, лабораторных и полевых исследованиях, различаются многократно.

Капли рабочего раствора пестицидов при движении от распылителя до обрабатываемой поверхности при идеальных метеорологических условиях и состоянии окружающей среды проходят следующие стадии движения: вылет из сопла распылителя струи и ее распад на капли; формирование факела распыла; движение капель в окружающей воздушной среде (начальное неравномерное движение, падение с постоянной скоростью (скорость витания)); движение в приповерхностном слое; движение в растительном (послевсходовые обработки) слое; взаимодействие с обрабатываемыми поверхностями и осаждение на них.

На процесс диспергирования рабочей жидкости оказывают влияние многие факторы, основными из которых являются:

- физико-механические свойства жидкости (вязкость, плотность, поверхностное натяжение);
- технологические параметры (тип, параметры и форма выходного сопла распылителя, давление в напорной жидкостной магистрали, рабочая скорость агрегата), определяемые распыливающими рабочими органами и настройками опрыскивающей аппаратуры;
- состояние окружающей среды (влажность, плотность, атмосферное давление).

Из сопел гидравлических распылителей вылетают струи жидкости, сформированные в виде пленок (рис. 1), геометрические размеры которых определяются конструкцией и параметрами рабочих элементов распылителей, а также рабочим давлением в напорной жидкостной магистрали. Через некоторый период времени пленки проходят фазу распада h_{ϕ} , после чего образуются капли различных диаметров, которые формируют факел распыла и движутся с различными скоростями в направлении обрабатываемого объекта, находящегося на расстоянии h_k . В результате проведенных лабораторных исследований было отмечено, что на продолжительность фаз и геометрические параметры струи (длина и ширина) и факела распыла (угол при вершине) оказывают влияние: тип распылителя, параметры его выходного сопла, давление в нагнетательной магистрали. Так, для распылителей СТ 110.03, СТ 110.04, Albus ATR 80, РД 1.6 увеличение давления в гидравлической магистрали приводит к увеличению угла при вершине факела распыла, уменьшению (для РД 1.6 не изменяется) времени распада струи, изменению длины и ширины струи. При этом распад струи в зависимости от давления в нагнетательной магистрали для исследованных распылите-

лей начинается на расстоянии 10...40 мм от выходного сопла [6]. Движение образовавшихся капель в факеле распыла условно можно разделить на две стадии: неустановившийся режим (связанный с изменением скорости движения) и установившийся – падение с постоянной скоростью (скорость витания) движения. При постоянно изменяющихся факторах окружающей среды и метеорологических условиях, процесс падения можно рассматривать как нестационарный. При этом формируются следующие области движения (рис. 2): осаждение капель в одиночном факеле распыла 2, снос мелких капель в межфакельные 3 и боковое 4 пространства, факел сносимых ветром крупных капель 5, движение капель в зоне пересечения соседних факелов распыла 6.

Скорости вылета капель из области распада струи имеют различные величины и находятся в пределах 10...25 м/с. При этом капли более 70 мкм на расстоянии 0,04 м от сопла (область распада струи) имеют скорость 16...18 м/с, а капли менее 70 мкм – 10...12 м/с [9]. Капля диаметром 100 мкм при начальной скорости 20 м/с пролетает за 0,1 с 0,2 м, а затем переходит во взвешенное состояние и подвергается воздействию внешних климатических условий. Капля диаметром 200 мкм достигает своей конечной

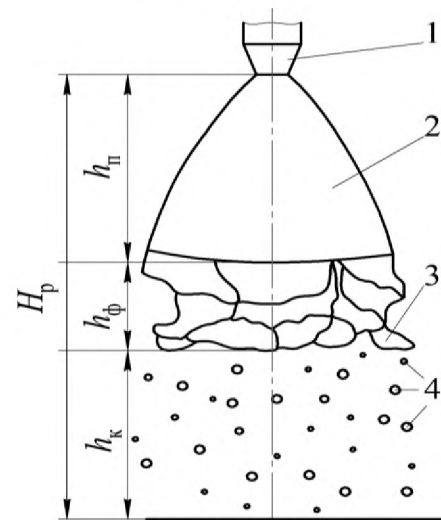


Рисунок 1. Процесс образования и падения капель [2]:
1 – распылитель; 2 – пленка жидкости; 3 – распадающаяся пленка; 4 – капли факела распыла; H_p – высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью; h_n – высота пленки струи жидкости; h_{ϕ} – высота фазы распада пленки; h_k – высота падения капель

скорости падения через 0,2 с, за которое пролетает 0,625 м [10]. При отсутствии ветра капли диаметром 100 мкм падают со скоростью 0,26 м/с, а 80 мкм – 0,17 м/с. Кроме этого, при работе на повышенных скоростях капли рабочего раствора пестицида подвергаются дополнительному воздействию набегающего потока воздуха, создаваемого движущимся агрегатом. Так, при рабочей скорости опрыскивателя 8 км/ч на капли действует воздушный поток скоростью 2 м/с, а при вероятной скорости 30 км/ч – уже

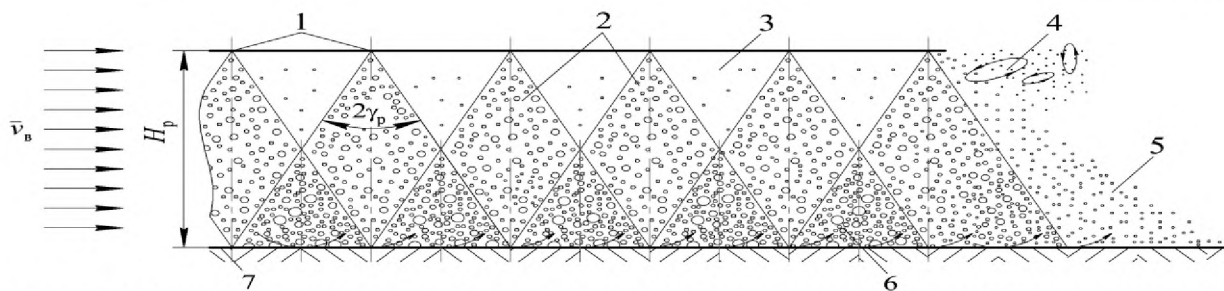


Рисунок 2. Схема движения капель в факелах распыла гидравлических распылителей полевого штангового опрыскивателя: 1 – распылитель; 2 – факел распыла; 3 – межфакельное пространство; 4 – зона воздушного выноса капель; 5 – зона сноса капель ветром; 6 – зона перекрытия соседних факелов; 7 – обрабатываемый объект

8 м/с [3; 11]. При недостаточно выровненной поверхности поля работа на повышенных скоростях приводит (при неэффективной системе стабилизации) к возникновению колебаний штанги, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. В условиях хорошо выровненной поверхности амплитуда колебаний краев штанги длиной 12 метров составляет $\pm 0,20$ метра. Это влечет изменение начальных условий вылета капель из сопел распылителей, закономерностей их движения в факелах распыла и осаждения на обрабатываемые поверхности.

Кроме того, возникает вероятность потерь пестицидов вследствие испарения и сноса капель ветром. Для данной стадии аппликации характерно большое количество теоретических исследований и зависимостей, определяющих кинематические параметры движения капель в окружающей среде [12].

Нестабильность окружающей воздушной среды является одной из основных причин возникновения потерь рабочих растворов пестицидов. Ветер и создаваемые им турбулентные восходящие потоки (вертикальная скорость воздушного потока составляет около 1/10 средней горизонтальной скорости) могут выносить капли не только за пределы обрабатываемой полосы, но и за пределы обрабатываемого поля. Различными исследователями отмечено, что при проведении мелкокапельного опрыскивания при скорости ветра 1,0...4,0 м/с количество рабочего раствора, осевшего за пределами обрабатываемого участка, возрастает в 2...6 раз. При этом увеличение диаметра капель с 200 до 306 мкм позволяет сократить количество осевшего за пределами обрабатываемого участка рабочего раствора в два раза.

Турбулентные потоки приводят в движение теплый приземной поток, который, поднимаясь, увлекает за собой почвенные частицы. Они встречаются и взаимодействуют с крупными каплями, движущимися в факелах распыла. Полученные при этом новые образования оседают либо на растениях, либо на поверхности поля, снижая эффективность обработки.

При внесении рабочих растворов пестицидов штанговыми рабочими органами факелы распыла, образуемые соседними распылителями, пересекаются, создавая условия для дополнительного взаимодействия капель между собой, вызывая их деление (дробление) или слияние (рис. 2). Эти явления осо-

бенно важно учитывать при исследовании процесса осаждения капель на обрабатываемые поверхности. С одной стороны, мелкодисперсный распыл позволяет покрыть препаратом большую площадь целевого объекта, исключить потери из-за стекания и скатывания, а с другой – приведет к их увеличению вследствие испарения мелких капель в окружающий воздух, сноса и выноса ветром [3]. Относительная скорость испарения капель удваивается, если относительная влажность воздуха снижается с 95 до 85 %, с 85 до 70 %, с 70 до 45 %, с 45 до 0 % или при каждом повышении температуры воздуха на 10 °С в пределах от 10 до 30 °С. Поэтому требуемый дисперсный состав капель распыла для каждой конкретной технологической операции химической защиты растений является основным условием оптимизации процесса опрыскивания. Важными условиями на данном этапе являются: правильное определение расстояния, на котором происходит распад струи, размеров образующихся капель, и их начальных скоростей, геометрических параметров факелов распыла, а также оценка степени влияния на закономерности их движения метеорологических условий и состояния окружающей среды.

Стадия 4. Оседание капель на обрабатываемые поверхности целевых объектов. На закономерности осаждения (взаимодействия) на обрабатываемой поверхности капель влияют процессы их движения в около растительном и растительном слоях. Основным условием эффективности процесса осаждения капли на обрабатываемой поверхности является достаточная величина ее количества движения, определяемого скоростью и размерами, позволяющая противодействовать всем внешним факторам. Следует отметить, что величина конечной скорости падения капель зависит от их диаметра. Так, капли диаметром 10 мкм падают со скоростью 0,003 м/с, 20 мкм – 0,012 м/с, 50 – 0,07, 100 – 0,26, 200 – 0,72, 500 – 2,2, 1000 мкм – 4,0 м/с. При движении капель в около растительном слое следует учитывать воздействие восходящих воздушных потоков и фактор снижения скорости ветра. При движении в растительном слое учитываются стадии развития растений, их степень облиственности (пористость), скорость и направление турбулентных потоков и другое. Данные процессы оказывают существенное влияние на закономерности оседания капель на органы растений.

Одними из основных параметров обработки растений является степень и густота покрытия их поверхностей. На поверхностях целевого объекта обработки оседает от 40 до 90 % рабочего раствора. Эффективность химических обработок наступает при степени покрытия целевой поверхности не менее 0,5-1 % для гербицидов, 2,0-3,0 % – для инсектицидов и фунгицидов [3]. Для большинства довсходовых гербицидов достаточно 20 капель на 1 см² целевого объекта, для послевсходовых – 30...40 капель. Биологический эффект при обработке фунгицидами и инсектицидами обеспечивается при густоте покрытия 50...70 капель на 1 см². При этом при работе штанговых опрыскивателей должно обеспечиваться покрытие 80 % верхней и 60 % нижней листовой поверхности [3; 6, 7].

Необходимо отметить, что для каждого конкретного случая существует свой оптимальный размер капель, зависящий от многих факторов: вида растения, его состояния, применяемого препарата, интенсивности сноса частиц ветром, рассеивания их в приземном слое атмосферы, испаряемости рабочей жидкости, смачиваемости листовой поверхности, размеров обрабатываемого участка и пр. Например, установлено, что капли диаметром 250...400 мкм и более скатываются и стекают с поверхностей листьев и оседают на почву, загрязняя ее [3, 4]. Такой диапазон в размерах показывает, что исследования проводились в различных условиях и при различном состоянии обрабатываемых поверхностей и физико-механических свойств рабочей жидкости. Данный параметр определен при падении единичной капли.

Многочисленными исследованиями установлено, что содержащиеся в спектре факела распыла капли больших диаметров при взаимодействии с обрабатываемыми поверхностями могут распадаться на более мелкие за счет силы удара, увеличивая степень покрытия [4; 9]. Данный эффект, основным условием которого является превышение кинетической энергии капли над ее энергией поверхностного натяжения, наблюдается в зависимости от состояния поверхности, свойств жидкости и параметров падения при диаметрах капель, превышающих 200 мкм [4]. Наиболее подвержены дроблению при ударе об обрабатываемую поверхность капли, генерируемые инжекторными распылителями [7].

В реальности существуют условия, при которых лист совершает дополнительные колебательные движения, вызванные воздействием ветра, восходящих от земли потоков воздуха, «бомбардировкой» первых оседающих капель факела распыла, направленного воздушного потока (при использовании искусственно создаваемых струй воздушного сопровождения капель факела распыла). Последующие капли будут падать на колеблющиеся листья и взаимодействовать с движущейся навстречу или от них поверхностью (рис. 3). При этом должны учитываться закономерности формирования и гидродинамическая структура воздушно-капельного потока, воздействие различных сил, взаи-

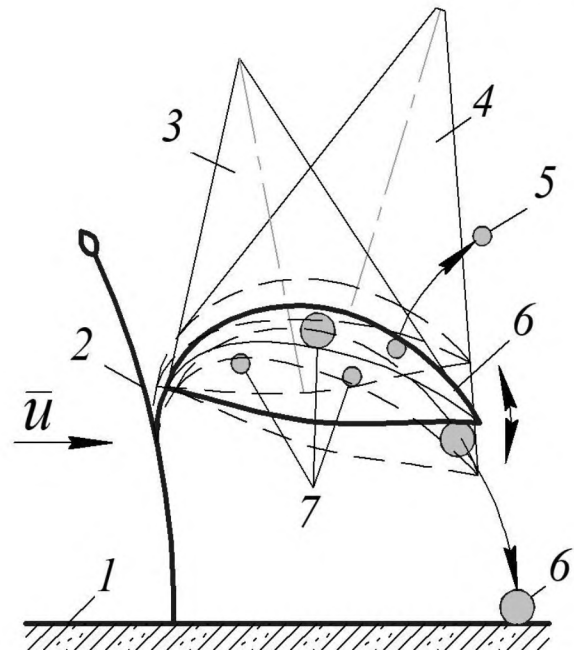


Рисунок 3. Схема воздействия факторов при осаждении капли на листе растения: 1 – поверхность поля; 2 – целевой объект обработки (растение); 3 – факел распыла пестицида; 4 – направленная воздушная струя (опрыскиватели с воздушной транспортировкой капель); 5 – отброшенная листом капля; 6 – скатывающаяся с листа и оседающая на почву капля; 7 – капли, осевшие на листе.

модействие капель между собой и окружающей средой, физико-химические свойства рабочего раствора и окружающей среды, движение восходящих потоков, возникающие инверсии и другие факторы.

Стадия 5. Эффективность обработки. На заключительном этапе проводятся экономическая, биологическая, экологическая, агротехническая оценки проведенной операции и делается вывод о ее эффективности и целесообразности. Поэтому на данном этапе выполняются физические и биологические измерения, экологические измерения и наблюдения. Физические измерения заключаются в определении показателей [6; 13], определяемых агротехническими требованиями к качеству выполнения технологического процесса, биологическая оценка определяет степень снижения вредоносных факторов и в изменении урожая. Экологические наблюдения отражают последствия проведения технологической операции для окружающей флоры и фауны (повреждение растений соседних полей, наличие остаточных количеств химикатов в сточных водах, соседних водоемах и другие).

На основе данного анализа обоснован комплексный подход к внесению рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями, который можно представить в виде схемы взаимодействия факторов, влияющих на количественные и качественные показатели внесения эффективности средств защиты растений на различных стадиях аппликации (рис. 4).

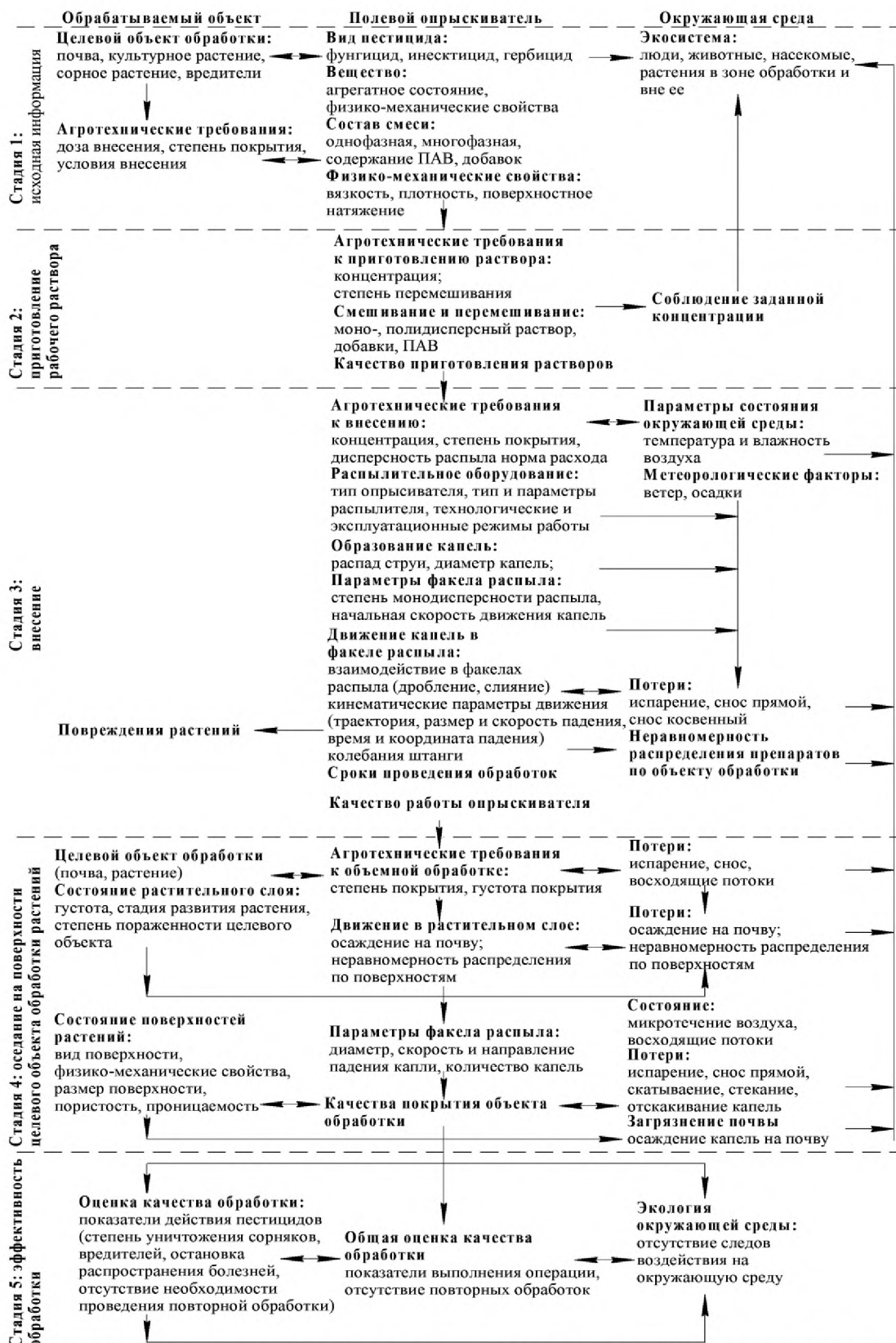


Рисунок 4. Схема комплексного подхода к аппликации рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями

Заключение

В результате всестороннего анализа последовательных этапов, составляющих аппликацию пестицидов в растениеводстве, их начальные условия и конечные результаты, и факторов, влияющих на качество и эффективность проведения технологических операций, обоснован комплексный подход к внесению рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями. Разработана схема взаимодействия факторов, влияющих на количественные и качественные показатели эффективности средств защиты растений на различных стадиях аппликации, в системе «опрыскиватель – обрабатываемый объект – окружающая среда».

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта Т24МН-005.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

1. Клочков, А.В. Новые направления совершенствования машин для химической защиты растений / А.В. Клочков, П.М. Новицкий, А.Е. Маркевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы междунар. научн.-практ. конф., посвященной 60-летию Белор. гос. аграр. техн. ун-та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), д-ра техн. наук, профессора В.П. Суслова, Минск, 4-6 июня 2014 г.: в 2 ч. – Минск: БГАТУ. – Ч. 2. – С. 229-238.
2. Шпаар, Д. Защита растений в устойчивых системах земледелия: в 4-х книгах / Под общей ред. Д. Шпаара. – Торжок: ООО «Вариант», 2004. – Кн. 4. – 345 с.
3. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.
4. Лысов, А.К. Повышение эффективности осаждения капель диспергируемой рабочей жидкости при использовании вращающихся дисковых распылителей, перфорированных или сетчатых барабанов

/А.К. Лысов // Вестник защиты растений. – 2016. – № 4 (90). – С. 61-66.

5. Способы и устройства защиты факела распыла при внесении пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник. – 2007. – Вып. 41. – С. 106-113.

6. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / С.К. Карпович, Л.А. Маринич, И.С. Крук [и др.]; под общ. ред. И.С. Крука. – Минск: БГАТУ, 2016. – 140 с.

7. Показатели качества опрыскивания полевыми штанговыми наземными машинами / И.С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник. – 2016. – Вып. 50. – С. 233-239.

8. Исследование параметров струи факела гидравлических распылителей в лабораторных условиях / И.С. Крук [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. научн. трудов; редкол.: В.В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 129-133.

9. Nuytens, D. Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means: diss... of Doctor of Bioengineering Sciences / D. Nuytens; Catholic University of Leuven. – Leuven, 2007. – 267 p.

10. Herbicide application methodologies: influence of nozzle selection, droplet size and spray drift on effective spraying – a review. / C.R. Chethan [et al.] // Innovative Farming. – № 4 (1). – 2019. – P. 45-53.

11. Lechler. Теория и практика опрыскивания / И.А. Редкозубов [и др.]. – Lechler, 2010. – 19 с.

12. Крук, И.С. Особенности моделирования процесса падения капель пестицидов при внесении рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями / И.С. Крук // Агропанорама. – № 3 (169). – 2025. – С. 2-10.

13. Пунцулис, П. Аспекты оценки экологического риска при эксплуатации полевых опрыскивателей / П. Пунцулис, И. Закас. // Environment. Technology. Resources. – 2003. – С. 225-231.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.06.2026