

Элементы техники полива и их расчет

Поверхностным поливом называется способ орошения, при котором вода распределяется по полю сплошным слоем или отдельными струями по бороздам и поступает в почву под действием гравитационных и капиллярных сил.

Качество и эффективность поливов сельскохозяйственных культур зависят прежде всего от поливной техники. Совершенная поливная техника, соответствующая конкретным природным условиям и возделываемой сельскохозяйственной культуре, позволяет поливать качественно и эффективно. Напротив, отсталая поливная техника или техника, не соответствующая природным условиям и возделываемой культуре, вызывает перерасход оросительной воды, большие затраты труда, потери земельной площади и низкое качество поливов.

Чтобы механизировать и автоматизировать полив, надо прежде всего знать условия применимости тех или иных способов полива, элементы техники полива и их оптимальные размеры, технологию полива, уметь оценивать качество и эффективность полива.

§ 5. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ ПОЛИВА

Элементами техники поверхностного самотечного полива (поливными элементами) являются устраиваемые (нарезаемые) на поле поливные борозды, полосы и чеки. Они служат для подачи воды непосредственно к корневой системе растений. Вода в поливных элементах превращается из состояния поливного тока в состояние почвенной влаги путем впитывания воды в почву.

Поливные борозды представляют собой систему параллельных канавок в земляном русле малого поперечного сечения, нарезанных по поверхности поля с определенным положительным (иногда нулевым) уклоном, обеспечивающим поступательное движение воды от их начала к концу.

Полив по бороздам — это способ полива, при котором вода движется по бороздам отдельными струями



Рис. 1. Полив по бороздам.

и впитывается в почву под действием гравитационных и капиллярных сил через смачиваемую поверхность поливных борозд (рис. 1). Полив по бороздам основной и самый распространенный способ полива. По бороздам поливают пропашные культуры (хлопчатник, свеклу, картофель, кукурузу и др.), виноградники, сады, а в некоторых районах и узкорядные

культуры (зерновые, травы и др.). В последнем случае борозды должны быть засеваемыми.

Расстояние между поливными бороздами назначают из условия получения максимальных урожаев. Оно зависит в основном от свойств почвы, уклона борозд и характера размещения растений. На тяжелых влагоемких почвах, где контур увлажнения широкий, расстояние между поливными бороздами может быть принято значительно большим, чем на легких маловлагоемких почвах, где контур увлажнения узкий, вытянутый книзу. Расстояние между бороздами должно обеспечить достаточно равномерное увлажнение всего активного слоя почвы. Для полива пропашных культур в условиях Средней Азии на средних и малых уклонах местности (0,007 и менее) поливные борозды нарезают чаще всего через 0,9 м друг от друга (широкие междурядья), а на больших уклонах (более 0,007) — через 0,6 м (узкие междурядья). В других районах для полива пропашных культур ширину междурядий принимают 0,7 м.

Широкие междурядья позволяют существенно увеличить поперечное сечение борозд в сравнении с узкими междурядьями, а следовательно, их пропускную способность и длину, что особенно важно при малых уклонах борозд. При больших уклонах на средних и тяжелых почвах, где контур увлажнения широкий (1-1,2 м), а ширина междурядий 0,6 м, первые два или все поливы проводят через борозду (через междурядье), то есть через 1,2 м. Наиболее эффективен в этих условиях полив через междурядье по уплотненным колесами трактора бороздам.

При поливах многолетних насаждений (виноградники и сады) поливные борозды нарезают в междурядьях насаждений (от 1 до 10 борозд). Расстояния между бороздами зависят от вида насаждений, почвы и уклона.

На виноградниках в большинстве случаев нарезают две борозды в междурядье, по одной поливной борозде с обеих сторон ряда винограда на расстоянии 50 см от него.

Также нарезают борозды и в молодых садах в первые два года их жизни. По мере увеличения кроны и развития корневой системы в зависимости от схемы посадки число поливных борозд увеличивают до 4-6 (по 2-3 борозды с каждой стороны ряда), а в персиковых садах — до 10 борозд.

В 5-8-летнем возрасте сады поливают по бороздам, первые из которых нарезают на расстоянии 0,8-1,1 м от штамба, чтобы при нарезке их крона деревьев не повреждалась механизмами. При широких междурядьях глубина борозды равна 15-25 см, ширина поверху — 50-60 см. Такие борозды называют глубокими. При узких междурядьях глубина борозды равна 10-15 см. Такие борозды называют мелкими.

Борозды, имеющие в конце их перемычку, называют тупыми. Их нарезают на малых уклонах и поливают по ним без поверхностного сброса воды.

На больших и средних уклонах поливать без небольшого поверхностного сброса (3-5% расхода поливной струи) практически невозможно. Поэтому на таких уклонах поливные борозды перемычек не имеют и их называют проточными.

Полив по бороздам практически применяют на уклоне местности до 0,03, а в некоторых районах до 0,3. Однако на уклонах более 0,03 усиливается опасность водной эрозии почвы. Поэтому при поливах по бороздам на уклонах от 0,03 до 0,3 необходимо строго соблюдать рекомендации по размерам поливных струй и применять поливную технику, обеспечивающую подачу малых струй в борозды.

Направление поливных борозд по отношению к основному уклону местности выбирается с учетом качественного проведения поливов и возможности проведения механизированных обработок сельскохозяйственных культур.

На уклонах местности до 0,03 поливные борозды целесообразно направлять вдоль склона (по наибольшему уклону местности). Изменение направления борозд на этих уклонах увеличивает объемы планировочных работ, а при некачественно выполненной планировке ухудшает качество полива и увеличивает затраты труда на полив.

На уклонах местности от 0,03 до 0,1 при ровном рельефе с целью некоторого удлинения борозд уклон их целесообразно уменьшать до 0,01-0,03. Такой уклон обеспечивает движение воды в бороздах с малым наполнением их. При этом борозды не переполняются водой и не вызывают эрозию почвы на склоне. В этом случае борозды получают направление под острым углом к горизонталям (поперек склона).

При сложном рельефе на тех же уклонах (0,03-0,1) поливные борозды направляют по наибольшему уклону местности.

Не рекомендуется направлять борозды поперек склона на сильнокаменистых землях (при содержании каменистых фракций более 50-80 %), так как здесь возможна сильная фильтрация воды через каменистые фракции из вышерасположенных (по склону) борозд в нижерасположенные.

На уклонах от 0,1 до 0,3 поливные борозды должны быть направлены по наибольшему уклону, так как на этих уклонах при работе пропашного трактора поперек склона происходит его сползание и не исключено опрокидывание. При уклонах местности более 0,3 механизированные междурядные обработки практически невозможны и необходимо устройство террас.

Поливные полосы представляют собой систему широких мелких параллельных русел, устроенных на поверхности поля для пропуска поливной струи. Их образуют путем устройства земляных валиков, нарезаемых по наибольшему уклону местности параллельно друг другу. Валики делят орошаемое поле на полосы определенной ширины и длины. По полосам поливают узкорядные (сплошного сева) культуры (зерновые, травы, бобовые и др.), а также производят влагозарядку. Ширина полос должна быть кратной ширине захвата рядовых сеялок и обычно равна 1,8-7,2 м. Продольный уклон таких полос не должен превышать 0,02.

При малых уклонах местности (до 0,002-0,005) на средних и тяжелых почвах главным образом при поливе многолетних трав ширину полос можно увеличить до 30 м (широкие полосы).

Валики нарезают специальными орудиями — валикделителями до посева или одновременно с посевом. Высота их от 10-15 до 30-40 см и зависит от расхода воды на полосе и наличия поперечного уклона.

Способ полива, при котором вода движется по полосам и впитывается в почву под действием в основном гравитационных сил, называется поливом напуском по полосам (рис. 2).

Поливные чеки представляют собой систему прямоугольных безуклонных или малоуклонных площадок затопления размерами от 0,2 до 5 га и более, разделенных

земляными валиками трапецеидального сечения. Как исключение, на участках с особо неблагоприятным рельефом допускаются косоугольные чеки с углом пересечения продольных и поперечных валиков, не превышающим 70° .

На крупных картах-чеках (площадью до 24 га) с широким фронтом залива и сброса поперечные валики не устраивают.

Продольные валики устраивают постоянными, поперечные — постоянными или временными, переходимыми или непереходимыми для сельскохозяйственных машин. Высота валиков 35 см, ширина поверху 30-35 см; заложение откосов переходимых валиков не менее 1:4, непереходимых 1:1,5.

Способ полива, при котором вода подается крупным поливным током на чек или карту-чек и впитывается в почву под действием гравитационных сил, называется поливом затоплением по чекам. Этот способ полива применяют при возделывании риса и для промывки засоленных почв.

§ 6. РАСЧЕТ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ

Полив по бороздам основной и самый распространенный способ полива.

Оптимальные параметры элементов техники полива устанавливают расчетом.



Рис. 2. Полив напуском по полосам.

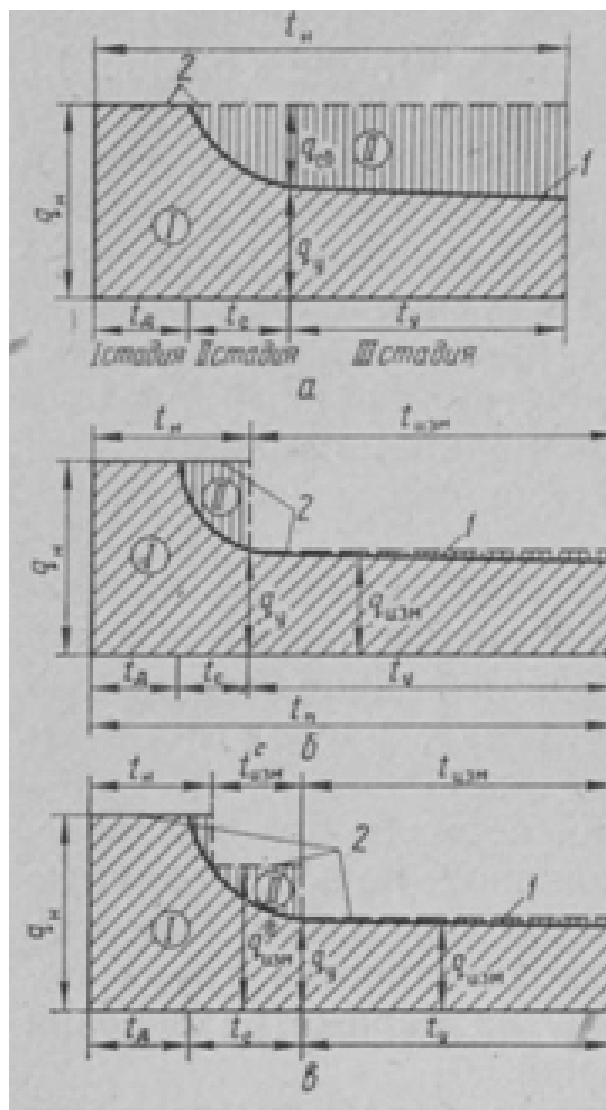


Рис. 3. Характер изменения расходов впитывания во времени:

а — при поливе постоянной струей; б и в — при поливе переменной струей (варианты изменения струи соответственно в один и два приема);

I — объем воды, впитавшейся в борозду; II — объем поверхностного сброса воды;

1 — кривая расходов впитывания воды в борозду; 2 — график подачи поливной струи в голове борозды.

Расчет полива по бороздам без сброса (добеганием) подробно рассматривается во многих учебниках и пособиях по мелиорации. В настоящем учебном пособии рассмотрен преимущественно расчет полива по проточным бороздам со сбросом. Поверхностный сброс воды с концов борозд при поливах на уклонах местности более 0,003 практически неизбежен. Однако важно, чтобы этот сброс был небольшим, не больше 4- 5% воды, поданной в голове борозды.

Основными параметрами поливной борозды, которые необходимо знать при проектировании оросительной системы, являются: длина борозды; расстояние между поливаемыми бороздами; уклон борозды; максимальный расход поливной струи в голове борозды; минимальный расход поливной струи, равный расходу впитывания в борозду в конце полива; продолжительность подачи воды в борозду (продолжительность полива) .

Кроме основных параметров, необходимо знать следующие: смоченный периметр борозды,

время добегания струи до конца борозды, время подачи максимальной и минимальной поливных струй, расход и объем поверхностного сброса воды.

Все эти параметры поливной борозды должны обеспечивать: подачу заданной поливной нормы, заданную равномерность увлажнения почвы по длине борозды, высокий КИВ, высокую производительность труда поливальщиков. Кроме того, при этих параметрах эрозия почвы должна быть минимальной.

Поперечные размеры поливных борозд чаще всего бывают известны или назначаются в зависимости от рельефных и почвенных условий и от вида сельскохозяйственной культуры.

Оптимальные длины борозд и расходы поливных струй могут варьировать в широких пределах (соответственно от 50 до 500 м и от 0,01 до 2 л/с). Оптимальные значения их определяют расчетом на основе специальной теории бороздкового полива или полевыми опытами.

Роль теории бороздкового полива возрастает при проектировании и строительстве совершенных оросительных систем со стационарными или полустационарными техническими средствами подачи воды в борозды (поливные трубопроводы, лотки, шланги), так как ошибки в выборе длин борозд и расходов поливных струй могут свести на нет все преимущества таких систем. Например, Длинные поливные борозды увеличивают поливные струи и эрозию почвы, делают неравномерным увлажнение почвы по длине борозды, увеличивают расход оросительной воды.

Основная задача расчета элементов техники полива по бороздам — определение расходов поливных струй и длин борозд, которые исключают эрозию и позволяют вылить заданную поливную норму при высоком коэффициенте равномерности увлажнения по длине борозды ($K_p \geq 0,75-0,9$) и высоком коэффициенте полезного использования воды на поле ($\eta_n \geq 0,085-0,95$).

Технология подачи поливной струи в голове борозды может быть различной. Наиболее простой технологией является полив постоянной поливной струей, при которой в течение всего полива поливная струя не изменяется (рис. 3,а). Такая технология вызывает большие поверхностные сбросы воды с концов борозд или неравномерное увлажнение почвы по длине борозды.

Более совершенной технологией является полив переменной поливной струей, при которой в течение полива поливная струя изменяется в соответствии с требованиями минимальной эрозии почвы, равномерного увлажнения по длине борозды и минимального поверхностного сброса.

В целях равномерного увлажнения борозды поливная струя должна назначаться большой с тем, чтобы она могла быстро пробежать до конца борозды. В целях уменьшения эрозии почвы поливная струя, наоборот, должна быть маленькой. В целях уменьшения поверхностного сброса поливная струя должна уменьшаться по мере уменьшения расхода впитывания.

Для удовлетворения этих противоречивых требований расход поливной струи должен изменяться от минимального в начале полива до максимального в середине полива и снова до минимального в конце полива. Это наиболее совершенная, но и наиболее сложная технология подачи переменной поливной струи в борозду. Ее применяют преимущественно при уклонах борозд более 0,01 во избежание большой эрозии почвы.

При уклонах борозд менее 0,01, где опасность эрозии почвы уменьшается, полив начинают чаще с максимальной струи, а после ее добегаания до конца борозды и появления сброса струю уменьшают в один (рис. 3,б) или в два (рис. 3, в) приема. Эта технология подачи переменной поливной струи проще, но менее совершенная, так как большая струя в начале полива может вызвать эрозию легкоразмываемых почв. Учитывая наибольшую распространенность и сравнительно простоту этой технологии полива, применительно к ней рассмотрим теорию бороздкового полива.

Весь процесс полива по проточным бороздам (а также полосам) со сбросом можно разделить на три стадии (см. рис. 3).

В первой стадии за время t_d происходит добегание начальной (максимальной) поливной струи до конца борозды с одновременным впитыванием всей воды в почву.

Максимальный расход струи q_n для легкоразмываемых почв (например, лессовых) небольшой, для слабо- размываемых (например, каменистых) в несколько раз больше.

На второй стадии полива за время t_c (время стабилизации расхода впитывания) происходит уменьшение расхода впитывания от q_n до установившегося значения q_y , равного расходу фильтрации. Сбросной расход $q_{сб}$ на этом этапе при постоянной поливной струе увеличивается от нуля до максимального (практически постоянного) значения. Продолжительность второй стадии на сильноводопроницаемых почвах значительно меньше, чем на слабоводопроницаемых.

В третьей стадии полива расход фильтрации q_y практически не меняется. Границей между второй и третьей стадиями является наступление момента установления постоянного расхода воды q_y на фильтрацию.

Исходя из возможностей новых технических средств раздачи воды в борозды (трубопроводы, шланги, лотки), а также из условия равномерного увлажнения почвы по длине борозды, поливные струи в процессе полива целесообразно менять примерно 2 раза.

В производственных условиях уменьшать поливную струю можно в один или два приема. Уменьшать ее непрерывно в соответствии с кривой впитывания практически невозможно.

При изменении поливной струи в один прием время изменения следует назначать примерно на границе между второй и третьей стадиями полива (см. рис. 3,б). Изменять поливную струю в один прием целесообразно на почвах сильноводопроницаемых, когда продолжительность второй стадии полива (продолжительность стабилизации t_c расхода впитывания) невелика, а следовательно, небольшим будет и объем воды, сброшенной за это время.

На слабоводопроницаемых почвах продолжительность стабилизации расхода впитывания (вторая стадия полива) значительно больше. Поэтому на таких почвах в целях уменьшения поверхностного сброса во второй стадии полива изменять поливную струю целесообразно в два приема (см. рис. 3, в). Первый раз поливную струю уменьшают, когда сбросной расход $q_{сб}$ составит 30-35% от q_n . Величину первоначально измененной струи $q_{сизм}$ принимают равной расходу впитывания воды в борозду, замеренному непосредственно перед изменением струи.

Второй раз поливную струю уменьшают на границе между второй и третьей стадиями

полива до величины $q_{изм} = q_y$.

Максимальный и минимальный расходы поливных струй определяют, исходя из следующих соображений.

Максимальный расход поливной струи в голове борозды назначают в зависимости от уклона борозды, ее поперечного сечения и сопротивляемости почвы размыву. Причем скорость воды в борозде должна быть не больше 0,1-0,2 м/с.

На сероземах Средней Азии эрозия почвы начинается на уклонах более 0,003. Поэтому при уклонах борозд более 0,003 расход струи определяют из условия минимально допустимой эрозии почвы, а при уклонах менее 0,003 — из условия пропускной способности борозды.

На уклонах более 0,003 максимальным расходом поливной струи можно считать такой расход, при котором смыв почвы составляет не более 1 мм, или 12,5 т/га в год.

На уклонах от 0,003 до 0,01 для бесструктурных сероземов и пустынных почв хлопковой зоны максимально допустимый расход поливной струи в начале борозды q_n приблизительно можно определять по формуле С. М. Кривовяза, л/с

$$q_n = 1,75 \cdot 10^{-6} / i^{2,5}, \quad (1)$$

где i — уклон дна борозды.

Для луговых и лугово-сероземных почв с более высоким содержанием органического вещества и водопрочных агрегатов полученный по формуле (1) расход струи нужно увеличивать на 20-30%.

Для уклонов от 0,02 до 0,1 на почвах различной сопротивляемости размыву максимально допустимый расход воды в борозду можно вычислять по формуле В. Ф. Носенко, л/с

$$q_n = q_{прив} / i, \quad (2)$$

где $q_{прив}$ — приведенный расход, л/с.

Для почв средней и слабой сопротивляемости размыву (сцепление между частицами почвы 2-2,2 МПа) приведенный расход равен 0,004 л/с, а для почв повышенной сопротивляемости размыву (сцепление 2,4-2,5 МПа) — 0,005 л/с.

Для каменистых почв расход струи можно принимать в 2-10 раз больше.

При уклоне меньше 0,003 максимальный расход струи зависит от пропускной способности борозды.

С. М. Кривовяз рекомендует определять его по формуле, л/с

$$q_n = 1,28 \sqrt{i} h^2, \quad (3)$$

где h — допускаемая глубина воды в борозде, см.

Допускаемую глубину воды в борозде можно находить по формуле

$$h = 0,6N - 2\Delta, \quad (4)$$

где H — глубина борозды от гребня до дна, см; Δ — точность планировки поверхности поля, см.

Глубина борозды H зависит от ширины междурядий: при ширине междурядий 90 см глубина борозды равна 25 см, а при междурядьях 60 см — 19 см. Точность планировки поверхности поля Δ показывает отклонение отдельных точек рельефа от средней линии.

При поливах на землях с малыми уклонами (менее 0,003) значение Δ не должно превышать ± 5 см.

Минимальный расход поливной струи должен быть равен установившемуся расходу впитывания (расходу фильтрации) воды в борозде или незначительно (на 4-5%) больше его. Если известны удельный (на единицу длины) установившийся расход впитывания воды в борозде и длина борозды, то минимальный (установившийся) расход поливной струи q_y определяют по формуле

$$q_y = q'_y l_b, \quad (5)$$

где q'_y — удельный установившийся расход впитывания (расход фильтрации) воды в поливной борозде; l_b — длина борозды.

Для вычисления оптимальной длины борозды при заданном коэффициенте равномерности увлажнения K_p необходимо знать две основные зависимости:

- зависимость скорости впитывания воды в бороздах от времени $v=f(t)$ и взаимосвязанную с ней зависимость слоя впитавшейся воды от времени $h=f(t)$;
- зависимость длины пути, пройденного струей по борозде, от времени $x=f(t)$ или обратную зависимость $t=f(x)$.

Зависимость скорости впитывания воды в почву от времени $v=f(t)$ можно выразить двумя типами формул. Выбор типа формулы для расчетов зависит в основном от водно-физических свойств почвы и продолжительности полива.

Первым типом является наиболее известная и распространенная одночленная степенная формула академика А. Н. Костякова

$$v = v_1 t^{-\alpha}, \quad (6)$$

где v — скорость впитывания воды в любой момент времени; v_1 — скорость впитывания в конце первой единицы времени; α — показатель степени, характеризующий затухание скорости впитывания во времени и зависящий от водопроницаемости и начальной влажности почвы; α изменяется от 0,2 для сильноводопроницаемых до 0,8 для слабоводопроницаемых почв.

Скорость впитывания в конце первой единицы времени v_1 и средняя скорость впитывания за первую единицу времени v_0 взаимосвязаны следующим уравнением:

$$v_1 = v_0(1-\alpha). \quad (7)$$

По средней скорости впитывания за первый час v_0 С. В. Астапов разделяет почвы на три группы:

- слабой водопроницаемости — $v_0 < 0,05$ м/ч;
- средней водопроницаемости — $v_0 = 0,05-0,15$ м/ч;
- значительной водопроницаемости — $v_0 > 0,15$ м/ч.

Основным недостатком формулы (6) является то, что при $t \rightarrow 0$ скорость впитывания $v \rightarrow \infty$, а при $t \rightarrow \infty$ скорость $v_0 \rightarrow 0$, что не соответствует опытным данным.

Поэтому формула (6) применима для расчетов при небольшой продолжительности впитывания или полива. Она достаточно точно отображает процесс впитывания в первые 1,5-3 ч, а с увеличением продолжительности впитывания по мере приближения к явлению фильтрации эта формула дает большую погрешность.

Слой воды, впитавшейся в почву, равный интегралу функции (6), выражается формулой

$$h = \frac{v_1}{1-\alpha} t^{1-\alpha}. \quad (8)$$

Второй тип формул по впитыванию воды в почву основан на формуле А. Н. Костякова с добавлением (по предложению С. Ф. Аверьянова, В. Ф. Кулиниченко, Н. Ф. Созыкина, Н. Т. Лактаева и др.) установившейся скорости впитывания v_y :

$$v_0 = v_y(1 + b_t - \alpha). \quad (9)$$

Эта двучленная степенная формула значительно лучше отображает динамику скорости впитывания воды, чем формула (6).

Слой воды, впитавшейся в почву, равный интегралу функции (9), выражается формулой

$$h = v_y \left(t + \frac{b}{1-\alpha} t^{1-\alpha} \right). \quad (10)$$

Графическое изображение формул (9) и (10) дано на рисунке 4.

Исходные параметры v_y , b , α для формул (9) и (10) определяются по формулам, предложенным Н. Т. Лактаевым:

$$\alpha = \alpha_{ст} + 0,1; \quad b = b_{ст} N;$$

где a — ширина междурядий; B — ширина по верху потока воды в борозде; n — показатель степени (при $a = 0,6$ м, $n = 3$; при $a = 0,9$ м, $n = 6$).

Параметры $\alpha_{ст}$, $b_{ст}$, $v_{у.ст}$ получены в опытах по впитыванию воды на заливаемых площадках и в кольцах и названы Н. Т. Лактаевым стандартными. Их значения приведены в таблице 1.

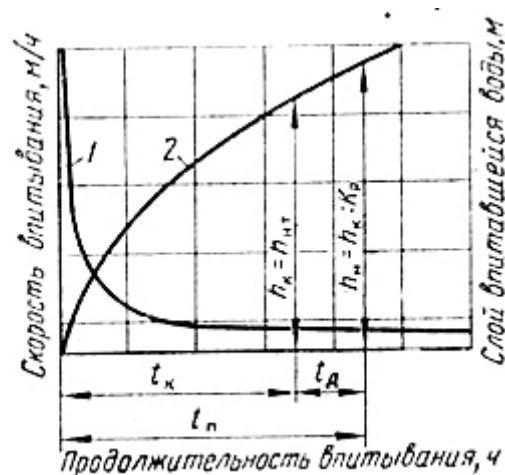


Рис. 4. Изменение скорости впитывания и слоя впитавшейся воды во времени:
 $1 - v = f(t)$; $2 - h = f(t)$.

Таблица 1. Значение стандартных параметров $\alpha_{ст}$, $b_{ст}$, $v_{у.ст}$ в зависимости от водопроницаемости почвогрунтов			
Почвогрунты	$v_{у.ст}$, м/ч	$b_{ст}$	$\alpha_{ст}$
Сильноводопроницаемые (супеси и легкие суглинки, подстилаемые галечником примерно с одного метра)	0,0150	1,45	0,33
Повышенной водопроницаемости (легкие мощные суглинки)	0,0080	1,85	0,50
Средней водопроницаемости (средние суглинки)	0,0045	2,5	0,60
Пониженной водопроницаемости (тяжелые суглинки с прослойками средних)	0,0025	3,5	0,70
Слабоводопроницаемые (глины и суглинки, подстилаемые водонепроницаемыми прослойками)	0,0015	4,7	0,75

<http://aquaspray.ru/articles/glava-2-elementj-tehniki-poliva-i-ih-raschet.html>