

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭКСТРАКЦИИ ДРЕВЕСНОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ

Вопрос определения сил сопротивления экстракции древесных корневых систем мало изучен и теоретически неполно обоснован, что сдерживает совершенствование и разработку новых конструкций прогрессивных рабочих органов (как активного, так и пассивного типа) корчевальных агрегатов.

Решение некоторой части этого трудного вопроса и предлагается в данной работе, в частности в ней рассматривается зависимость сил сопротивления экстракции древесной корневой системы от глубины ее залегания, диаметра главного пня, внутренних напряжений, типа почвы и ее влажности.

Следует отметить, что ввиду большой совокупности факторов, влияющих на сопротивление экстракции древесных корневых систем, получение аналитических зависимостей является довольно сложной задачей. Остановимся несколько подробнее на этих факторах.

Величина и характер изменения сопротивления при взаимодействии рабочих органов с многокомпонентной средой зависят от факторов, которые могут быть подразделены на три группы:

- 1) физико-механические характеристики рабочей среды;
- 2) геометрические параметры и конструктивные особенности периметра головной части рабочего органа;
- 3) технологические факторы, определяющие условия и способ осуществления процесса корчевки.

К первой группе относятся: угол внешнего трения почвы и древесной корневой системы по поверхности рабочего органа (по металлу), угол внутреннего трения, объемный вес, плотность и влажность среды, влажность древесины, степень задернения, размеры пня, количество пней на га, глубина проникновения корней в почво-грунт, способ распространения корневой системы в горизонтах почвы, возраст древостоя, порода деревьев, а также типы культур — смешанные или чистые.

Во вторую группу входят: угол резания, угол заострения клинового контура, задний угол, форма сечения головной части рабочего органа, радиус кривизны остова рабочего органа.

К третьей группе относятся: виды корчевки (горизонтальная, вертикальная, комбинированная), способ воздействия рабочих органов на физическое состояние почвы, древесной корчевой системы, скорость встречи рабочего органа с древесными корнями, пнем и др.

В любом технологическом процессе обработки требуется участие трех элементов:

- 1) среды, из которой состоит объект обработки;
- 2) рабочего органа машины, воздействующего на среду;
- 3) энергии, посредством которой рабочий орган воздействует на обрабатываемую среду.

В таком технологическом процессе гидролесомелиоративного строительства, как корчевка при подготовке трасс мелиоративных систем и лесных дорог, лесной средой служат почва и древесные корни (пни), инструментом — рабочий орган, необходимая для этого процесса энергия (механическая) получается в двигателе трактора из потенциальной энергии топлива и в виде работы тягового усилия или работы гидропривода (насоса, гидроцилиндра) передается рабочим органом, воздействующим на почву и древесные корни своей рабочей поверхностью; при этом происходит разрушение среды.

Разрушение обычно происходит непрерывным давлением или ударом.

При воздействии рабочих органов на почву имеют место как упругие, так и остаточные (пластические) деформации почв. Влажные почвы при определенной степени влажности способны пластично деформироваться.

Деформация зависит от состава почвы, от степени влажности, задернелости и т. д.

Разрушение твердых, сухих почв может происходить как путем обрыва частиц, так и путем сдвига. Деформации сдвига происходят по определенным плоскостям, часто называемым плоскостями скольжения, в которых касательные напряжения достигают максимума. Направление плоскостей скольжения связано с направлениями наименьшей сопротивляемости почвы.

Для рабочих органов типа «клина» основными видами деформации почв являются сдвиг и обрыв. Твердые сухие почвы характеризуются большим сопротивлением сдвигу, а пластические — большим сопротивлением обрыву отдельных частиц.

Известно, что разрушение зависит и от характера приложения нагрузки к среде. При всестороннем сжатии возможность нарушения сцепления устранена, и в этом случае хрупкие материалы ведут себя, как пластичные. Практика показала, что этот материал при сжатии в одном направлении ведет себя, как хрупкий, при сжатии по трем направлениям, — как пластичный материал.

Известно также, что действие динамических нагрузок (удар) приводит к быстрому нарастанию деформаций.

Вторым компонентом рабочей среды, подвергающимся воздействию рабочих органов, является древесная корневая система.

Распространение юрней древесной растительности в почве зависит как от биологических свойств древесных пород, так и от факторов внешней среды.

На распространение корней в почве оказывают влияние сложения почвенных горизонтов и состав растительных сообществ. В работах М. Д. Данилова (1947), И. Н. Рахтеенко (1949), П. С. Погребняка (1949), М. П. Мальцева (1950), И. И. Гордиенко (1952), А. Г. Солдатова (1955) и других находим подтверждение того, что строение корневой системы древесных пород отражает условия местопроизрастания.

В лесах БССР преобладают хвойные породы — на площади 68,2% (сосна — 57,9, ель — 10,3). Наиболее ценные твердолиственные породы занимают 4,9% (в том числе дуб — 4,6); на долю мягколиственных пород падает 26,9% (береза — 13,6; ольха — 9,5 и осина — 3,8).

Правильное и точное представление о величине подземной части древостоя крайне необходимо для разрешения ряда вопросов при изучении взаимодействия рабочих органов с корневой системой.

В чистых культурах сосна имеет главный корень в виде редьки длиной 60—70 см. От него во все стороны отходят горизонтальные корни.

В верхнем горизонте (A_1) на глубине 1—9 см сосредоточено 63,5% сосновых корней, а на глубине 9—30 см (горизонт A_2) содержится 26% сосновых корней.

Длина вертикальных корней находится в обратном отношении к глубине залегания почвенной воды, т. е. чем ближе последняя, тем короче вертикальные корни и наоборот.

В исследованиях А. Тольского (1905) отмечено отношение горизонтальных корней к вертикальным, равное 7:8 (для сосны в возрасте 115 лет), а для сосны в возрасте 32 года это отношение равно 2:3. Причем средняя длина наибольшего вертикального корня — 146 см, а горизонтального — 716 см для первой сосны; для второй сосны соответственно — 70 и 373 см.

Корневая система ели в чистых культурах имеет резко выраженную поверхностную корневую систему.

Вертикальная система корней у ели развита слабо. 85,5% корней ели сосредоточено на глубине 1—9 см (в горизонте A_1). Корни в этом горизонте в большинстве своем распространяются горизонтально, густо переплетаясь между собой, и образуют мощную сеть. Количество корней в горизонте A_2 (глубина залегания 9—30 см) — 14%.

В смешанных сосново-еловых культурах в верхнем горизонте (на глубине 1—9 см) содержится 84% еловых корней от их общей массы, а сосновых — 45%.

В почвенном горизонте A_2 (на глубине 9—30 см) наблюдается обратная картина: сосновых корней в 3,5 раза больше, чем еловых.

Исследованиями И. Н. Елагина и В. Н. Мина (1952) и В. С. Шумакова (1949) корневой системы дуба отмечено, что дуб образует густую горизонтальную сеть из крупных и мелких корней, при этом основная масса корней размещается до глубины 60 см, а в более глубоких горизонтах почвы количество их не превышает 20%.

На сопротивление экстракции оказывают значительное влияние, кроме таких известных факторов, как глубина залегания и степень распространения древесной корневой системы, форма и диаметр главного пня, его жесткость, еще и внутренние напряжения древесных тканей, которые обуславливают необходимую динамическую и статическую устойчивость деревьев против внешних воздействий, в том числе и механических.

Если бы корневая система была абсолютно жесткая, то силы экстракции можно было определить довольно просто, приравняв в конструктивном отношении ее к мостовым сваям или другим конструкциям типа «фундамента». Эти внутренние напряжения обусловлены тем, что наружные ткани корней оказываются растянутыми, а внутренние — сжатыми. Напряжения делятся на продольные и поперечные.

Внутренние напряжения вызваны воздействием внешней среды физическим, химическим и механическим путем на протяжении десятков сотен лет.

По своей величине внутренние напряжения различны в зависимости от породы древостоя, чем можно объяснить неодинаковую сопротивляемость экстракции древесной корневой системы разных пород при прочих равных условиях.

На дневной поверхности главный корень имеет расширение у основания выхода из почвы, что придает ему значительную устойчивость. Эти расширения более заметны у пород с распространенной поверхностной корневой системой (ель) и меньше заметны у пород со стержневой корневой системой (сосна).

Древесную корневую систему (главный корень) следует считать рессорой, закрепленной одним концом и имеющей конфигурацию тела, равного сопротивления на изгиб.

Действительно, слоистость древесины напоминает рессору, состоящую из отдельных листов.

Различие сил сцепления с почвой древесной корневой системы и инородного тела (например, деревянной сваи) при прочих равных условиях также объясняется наличием внутреннего напряжения у древесной корневой системы.

Эти внутренние напряжения в древесной корневой системе в момент экстракции «пытаются» привести систему (почва—корень—рабочий орган) в равновесие, оказывая некоторое сопротивление силам, нарушающим равновесие.

Исследование проводилось применительно к сосновым пням свежей зимней рубки различного диаметра и разной глубины залегания на двух участках. На одном участке почва—лесной суглинок, на другом—песчаная почва.

На вырубке нами зарегистрированы влажность горизонта 0—5 см — 11,5%, 10—20 см — 7,5%, 40—50 см — 5,3%, а температура почвы горизонта 0—5 см — 15,7°, 10—20 см — 13,1°, 40—50 см — 13,5°.

Основными узлами экспериментальной установки являются рабочие органы, опорная платформа, гидропривод и навесное устройство, которое крепится к раме трелевочного трактора при помощи пальцев и болтов.

Головная часть рабочего органа состоит из клина с заострением по внешней рабочей поверхности. Остов рабочих органов может поворачиваться вокруг своей оси, находящейся на опорной платформе, при помощи гидроцилиндров. Следует отметить, что на данном этапе работы рассматривался только один вид корчевальных работ — вертикальный.

Он производился путем заглубления рабочих органов в почву, затем в древесную корневую систему под главный корень и извлечения из почвы в вертикальном направлении путем поворота рабочего органа вокруг оси.

Так проводилась корчевка по известному правилу рычага I рода, вытекающего из правила моментов: рычаг находится в равновесии, когда действующие на него силы обратно пропорциональны плечам. При экстракции пня вначале обрываются, оставаясь в почве, лишь более тонкие, отдельно расположенные конечные корни. Более толстые и прочные корни, преодолевая силу сцепления и трения почвы, выходят на поверхность вместе с увлекаемым комом земли. В начале первого периода корчевки силы сопротивления экстракции корневой системы постепенно увеличиваются от нуля до некоторой величины, что объясняется внутренним напряжением древесной корневой системы, оказывающей противоположное действие силам экстракции. После преодоления равновесия действующих сил сопротивление нарастает довольно быстро, достигая некоторого максимума, и затем постепенно спадает до некоторой постоянной величины, определяемой лишь массой главного корня с его корневой системой и увлекаемым комом земли.

Поперечное сечение главного пня не является правильным кругом, поэтому его диаметр определяли как среднюю арифметическую величину из двух измерений — наибольшего и наименьшего во взаимно перпендикулярных направлениях. Причем плоскость, проходящая через мерную скобу, должна быть перпендикулярна оси ствола пня.

Для измерения применяли мерную скобу. Предварительно место измерения очистили от мха и лишайника. Подпневные ямы измеряли мерной линейкой. Для динамометрирования корчевальной установки применяли тензометрические узлы, которые представляют в основном двухпорную балку, работающую на изгиб и имеющую вид шарнирного пальца, в котором выфрезерованы 4 канавки, равномерно расположенные по окружности, под наклейку тензодатчиков сопротивления для

измерения как раздельно, так и суммарных нагрузок на пальцы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Усилие на штоке, развиваемое гидроцилиндрами, замеряем тензометрами, встроенными в гидроцилиндры.

Таким образом, результирующую силу сопротивления экстракции древесной корневой системы мы определяем путем тензометрирования

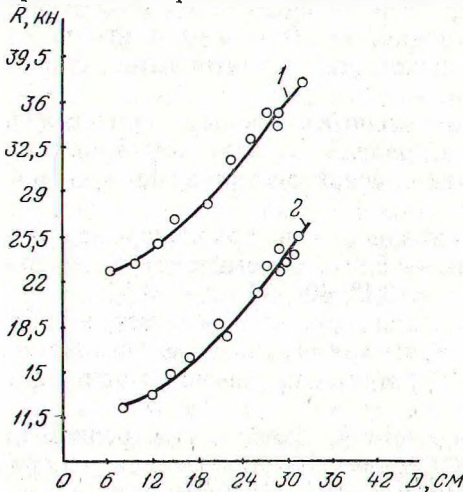


Рис. 1. График зависимости силы сопротивления экстракции от диаметра пня:

1 — почва — суглинок; 2 — почва — песок.

горизонтальных и вертикальных их составляющих, действующих в соответствующих шарнирах (осях) рабочих органов корчевальной машины.

Обработку экспериментальных данных начнем с построения графиков, которые являются наглядными и удобными способами представления опытных данных.

На рис. 1 в прямоугольной системе координат с равномерными шкалами построена зависимость между силой сопротивления экстракции и диаметром пня, единственного элемента, видимого на дневной поверхности почвы по данным опытов.

Анализ графика показывает, что эта зависимость хорошо описывается уравнением вида

$$R = R_{\max} \frac{D}{D + D_y}, \quad (1)$$

где R — сила сопротивления экстракции пня, кН;

R_{\max} — максимальная сила экстракции так называемого «характерного» пня.

Величина этой силы постоянная только для определенной породы и возраста древостоя, типа почвы и ее влажности, а также способа корчевки.

Для представления физического смысла величины D_y подставим в уравнение (1) значение $D = D_y$.

Тогда получим

$$R = \frac{R_{\max}}{2},$$

где D_y — диаметр такого (условного) пня (см), при котором сила сопротивления экстракции составляет половину своего максимального значения;

D — диаметр пня, см.

Для определения параметров R_{\max} и D_y производим спрямление кривой 1 по методу преобразования координат в новой системе координат D (горизонтальная ось — абсцисса) и D/R (вертикальная ось — аппликата). Для этого перепишем формулу (1) в несколько другом виде

$$\frac{D + D_y}{R_{\max}} = \frac{D}{R}.$$

При постоянных значениях параметров D_y и R_{\max} левая часть уравнения представляет собой линейную функцию от D . Стоящее в правой части уравнения отношение D/R может быть вычислено для любых взятых из опыта значений величин D и R . Откуда уравнение (1), нанесенное в системе координат D и R , изображается прямой линией, которая, отсекая оси координат, фиксирует значения искомых параметров: $R_{\max} = 55,58$, $D_y = 16$ (почва — суглинок); $R_{\max} = 43,26$; $D_y = 25$ (песчаная почва).

Таким образом, искомые уравнения кривых для почвы — суглинок и песчаной соответственно будут:

$$R = 55,58 \frac{D}{D + 16}, \quad (2)$$

$$R = 43,26 \frac{D}{D + 25}. \quad (3)$$

Характер изменения сил сопротивления экстракции пня от глубины его залегания показан на графике (рис. 2), который построен по данным опытов.

Все точки довольно близко укладываются на прямую линию, поэтому вид искомой формулы будет

$$R = bH_n + a, \quad (4)$$

где R — сила сопротивления экстракции, КН;

H_n — глубина залегания пня, см;

a и b — постоянные коэффициенты.

Коэффициенты a и b определяем методом наименьших квадратов при помощи известных уравнений

$$b = \frac{n \sum H_n R - \sum H_n \sum R}{n \sum H_n^2 - (\sum H_n)^2},$$

$$a = \frac{\sum H_n^2 \sum R - H_n \sum H_n R}{n \sum H_n^2 - (\sum H_n)^2},$$

где n — число опытов.

После подстановки в основное уравнение (4) вычисленных коэффициентов b и a , получим формулы (для почвы — суглинок и песчаной соответственно):

$$R = 0,278H_n + 15,36, \quad (5)$$

$$R = 0,58H_n - 7,04. \quad (6)$$

Расхождения значений R , вычисленных по формулам (5) и (6), со значениями, полученными в процессе проведения опытов, не превышают 3%.

На основании проведенных исследований можно сделать выводы.

1. Тип и размеры корней оказывают влияние на силу сопротивляющую экстракции. Самое большое сопротивление экстракции проявляют

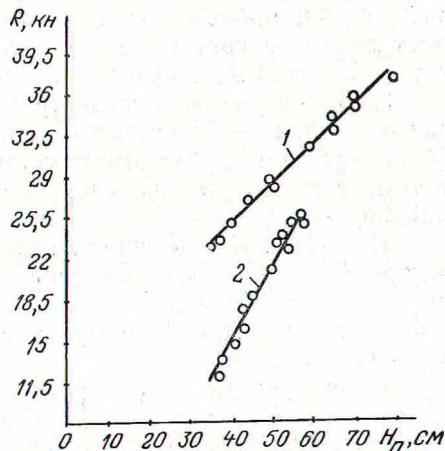


Рис. 2. График зависимости силы сопротивления экстракции от глубины залегания пня:

1 — почва — суглинок; 2 — почва — песок.

ни со стержневой корневой системой (на почве — суглинок), значительно меньшее сопротивление экстракции у пней с поверхностной корневой системой (на песчаной почве). Размеры корней имеют значительное влияние на сопротивление экстракции древесной корневой системы, причем длина главного корня (пня) имеет большее влияние, чем величина диаметра главного пня, единственного его элемента, видимого на дневной поверхности почвы при прочих равных условиях.

2. Тип почвы, ее влажность оказывают влияние на сопротивление экстракции; причем почва, плотность которой выше (суглинок), обладает большим сопротивлением экстракции в сравнении с почвой (песок), имеющей меньшую плотность.

3. На сопротивление экстракции древесной корневой системы оказывают влияние внутренние напряжения древесных тканей, которые обуславливают необходимую устойчивость против внешних воздействий, в том числе и механических, стремясь к восстановлению механического равновесия.

4. Установленные аналитические зависимости сил сопротивления экстракции древесной корневой системы от диаметра пня и глубины его залегания (для двух типов почв) в виде формул (1)—(6) соответствуют физическому смыслу явлений и отражают реально существующую зависимость.

5. Полученные нами формулы вполне соответствуют опытным данным в весьма широком диапазоне, они удобны и просты при выполнении вычислительных работ, не имеют дробных показателей степени.

6. Формулы можно рекомендовать в практику расчета и конструирования рабочих органов корчевальных машин и агрегатов.

Литература

- [1] М. П. Албяков. Новая технология, машины и орудия по возобновлению леса на вырубках с избыточным увлажнением почв. М., 1963. [2] М. П. Албяков. Механизация работ по возобновлению леса. М., 1966. [3] С. Х. Будыка. Основные принципы и методы гидротехнических мелиораций лесов Полесья. Тр. Института леса АН СССР, т. 49, 1959. [4] С. Х. Будыка, А. Ф. Тихонов. Лесопромышленный справочник. Мн., 1962. [5] В. Е. Вихров, А. К. Лобасенок. Технические свойства древесины в связи с типами леса. Мн., 1963. [6] В. П. Горячкин. Собрание сочинений. В 7 томах. М., 1937—1949 гг. [7] А. Г. Головейко. Математическая обработка сыпных данных. Мн., 1960. [8] М. П. Елпатьевский, М. П. Албяков. Механизация работ по лесосушительной мелиорации. Лесное хозяйство, № 63, 1952. [9] В. А. Желиговский. Сборник трудов по земледельческой механике. М., 1954. [10] А. Н. Зеленин. Резание грунтов. М., 1959. [11] И. И. Леонович. Графики и таблицы для расчета дорожных одежд. Мн., 1968. [12] Ю. В. Линник. Метод наименьших квадратов и основы математикостатистической теории обработки наблюдений. М., 1958. [13] М. Г. Папазов, С. Г. Могильный. Теория ошибок и способ наименьших квадратов. М., 1968. [14] И. Н. Рахтеенко. Корневые системы древесных и кустарниковых пород. М., 1952. [15] И. Н. Рахтеенко. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Мн., 1963. [16] П. П. Роговой. Почвы БССР и их использование. Мн., 1949. [17] А. М. Туричин. Электрические измерения неэлектрических величин. М., 1959.