

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-344650>

Оригинальное исследование



Математическая модель несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки

А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, Т.Х. Пазова, А.Г. Фиापшев, А.Л. Хажметова

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, Нальчик, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В статье рассмотрена проблема создания надежной системы защиты плодовых насаждений от неблагоприятных атмосферных явлений, болезней, вредителей в условиях горного рельефа местности, которую можно решить за счет применения искусственного орошения. Для решения указанной проблемы необходимо разработать несущую конструкцию мелкодисперсной дождевальной установки с подвешенными к ней распылителями, позволяющими обрабатывать плодовые насаждения со всех сторон одновременно. При этом конструктивно-технологические параметры работы мелкодисперсной дождевальной установки зависят от обеспечения прочности и устойчивости ее несущей конструкции.

Цель — разработать математическую модель несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки.

Методы. Использовались методы физического и математического моделирования, метод целенаправленного перебора параметров (метод Гемерлинга). Объект исследования — несущая конструкция мелкодисперсной дождевальной установки. Проверка работоспособности несущей конструкции по критериям прочности и устойчивости произведена на ЭВМ с использованием программы MATLAB.

Результаты. Решена оптимизационная задача для 4 вариантов компоновки несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки.

Заключение. Получены различные варианты компоновки несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки, обеспечивающие выполнение условия устойчивости и прочности; технологические требования к общей длине трубопровода, к его внутреннему диаметру и к количеству распылителей; требования стандарта к материалу и наружному диаметру трубопровода.

Ключевые слова: горный рельеф; плодовые насаждения; защита; мелкодисперсное дождевание; несущая конструкция; устойчивость; прочность.

Как цитировать:

Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М., Пазова Т.Х., Фиапшев А.Г., Хажметова А.Л. Математическая модель несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 4. С. 315–324. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-344650>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-344650>

Original Study Article

Mathematical model of the supporting structure of a finely-dispersing sprinkler installation

Aslan K. Apazhev, Yuri A. Shekikhachev, Luan M. Khazhmetov, Taimira Kh. Pazova, Amur G. Fiapshev, Alina L. Khazhmetova

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The paper considers the issue of creating a reliable system for protecting fruit plantations from adverse atmospheric phenomena, diseases, pests in mountain terrain, which can be solved with the use of artificial irrigation. To solve this issue, it is necessary to develop a supporting structure for a finely-dispersing sprinkler installation with sprayers attached to it, which make it possible to process fruit plantations from all sides simultaneously. At the same time, the design and technological parameters of the operation of the finely-dispersing sprinkler installation depend on ensuring the strength and stability of the supporting structure.

AIMS: Development of the mathematical model of the supporting structure of the finely-dispersing sprinkler installation.

METHODS: The methods of physical and mathematical modeling, the method of task-oriented enumeration of parameters (the Gernerling's method) were used. The research object is the supporting structure of the finely-dispersing sprinkler installation. The verification of the operability of the supporting structure according to the criteria of strength and stability was carried out with a computer using the MATLAB software.

RESULTS: An optimization problem has been solved for 4 variants of the layout of the supporting structure of the finely-dispersing sprinkler installation.

CONCLUSIONS: Various options for the layout of the supporting structure of the finely-dispersing sprinkler installation have been obtained, ensuring the fulfillment of the conditions of stability and strength; technological requirements for the total length of the pipeline, for its internal diameter and for the number of nozzles; the requirements of the standard for the material and outer diameter of the pipeline.

Keywords: *mountain terrain; fruit plantations; protection; finely-dispersing sprinkling; supporting structure; stability; strength.*

To cite this article:

Apazhev AK, Shekikhachev YuA, Khazhmetov LM, Pazova TKh, Fiapshev AG, Khazhmetova AL. Mathematical model of the supporting structure of a finely-dispersing sprinkler installation. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(4):315–324. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-344650>

Received: 24.04.2023

Accepted: 01.06.2023

Published online: 15.09.2023

ВВЕДЕНИЕ

Особенности природных условий горных и предгорных территории, характеризующимися большими уклонами, сложным рельефом местности, раздробленностью и мелкоконтурностью участков накладывают ряд ограничений на использование традиционной поливной техники. Наиболее полно принципам экологии и охраны окружающей среды отвечает многоцелевое использование дождевальных установок, в которых актуальна проблема снижения расхода воды за счет более рационального ее расходования. Одним из экономичных и высокоэффективных способов малоинтенсивного орошения является мелкодисперсное орошение [1–11].

По мнению И.С. Кочетова в горной местности наиболее целесообразным является создание малых технических средств, использующих канатную тягу [12].

В этой связи, актуальна задача создания эффективной системы защиты плодовых насаждений на склоновых землях, основанной на совершенствовании и разработке инновационных технических средств мелкодисперсного дождевания на базе принципиально новых малых средств механизации, работающих по постоянной технологической колее, которые по своим конструктивным характеристикам способны осуществлять увлажнение, внесение удобрений и химических средств защиты с поливной водой на мелкоконтурных склоновых участках. Для решения этой задачи необходимо разработка несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки с подвешенными к ней распылителями, позволяющими обрабатывать плодовые насаждения со всех сторон одновременно. При этом от обеспечения прочности и устойчивости несущей конструкции зависят конструктивно-технологические параметры работы мелкодисперсной дождевальной установки.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка математической модели несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки.

МЕТОДЫ

При проведении исследований использовались методы физического и математического моделирования, метод целенаправленного перебора параметров (метод Гемерлинга). Объект исследования — несущая конструкция мелкодисперсной дождевальной установки. Проверка работоспособности несущей конструкции

по критериям прочности и устойчивости произведена на ЭВМ с использованием программы MATLAB. 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемая мелкодисперсная дождевальная установка (рис.1) способна осуществлять увлажнение плодовых деревьев, внесение удобрений и химических средств защиты с поливной водой на мелкоконтурных склоновых участках [13].

Технологической особенностью работы мелкодисперсной дождевальной установки является необходимость ухода за кронами плодовых деревьев, который происходит по постоянной технологической колее. Установка благодаря канатной тяге свободно перемещается возвратно-поступательно на опорных блоках по несущему тросу и обрабатывает кроны плодовых деревьев.

Управление перемещением установки осуществляется автоматически, т.е. при соприкосновении с концевым переключателем автоматически реверсируется направление движения. При необходимости установку можно останавливать возле каждого дерева с помощью пульта дистанционного управления приводом установки.

Несущей конструкцией мелкодисперсной дождевальной установки является распределительный трубопровод, от конструктивных параметров которого зависят надежность работы установки и основные технико-эксплуатационные показатели.

Для определения различных вариантов компоновки несущей конструкции мелкодисперсной



Рис. 1. Общий вид мелкодисперсной дождевальной установки.
Fig. 1. General view of a finely-dispersing sprinkler installation.

дождевальной установки разработана математическая ее модель.

Расчетная схема несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки приведена на рис. 2.

Несущая конструкция со всеми подвесками и канатами обладает свойствами симметрии (см. рис. 2) относительно оси ОУ.

Благодаря наличию симметрии, достаточно рассмотреть одну половину конструкции (рис. 2, б).

Распределительный трубопровод с жидкостью создает равномерно распределенную нагрузку q по всей своей длине ℓ . На нем закреплены подвески массой $G_1 = G_2 = G$. Распределительный трубопровод закреплен на крюке (к) с помощью переходника (П) и поддерживается канатами длиной ℓ_1 и ℓ_2 , закрепленными в конце и середине рассматриваемой части распределительного устройства на расстоянии h от его оси. В результате чего в таких сечениях появляются сосредоточенные изгибающие моменты.

$$M_d = S_1 h \cdot \cos \alpha_1; \quad (1)$$

$$M_B = S_2 h \cdot \cos \alpha_2. \quad (2)$$

В переходнике трубопровод заглушен, поэтому примем это соединение жестким закреплением.

В зависимости от натяжения тросов упругая линия трубопровода будет принимать различные очертания.

Первоначально примем, что точки b и d остаются на оси ОZ. Схема сил и реакций связей показана на рис. 2, б.

$$\sum x = 0; \quad R_{ox} - S_1 \cos \alpha_1 - S_2 \cos \alpha_2 = 0; \quad (3)$$

$$\sum y = 0; \quad R_{oy} + S_1 \sin \alpha_1 + S_2 \sin \alpha_2 - qd - 2G = 0; \quad (4)$$

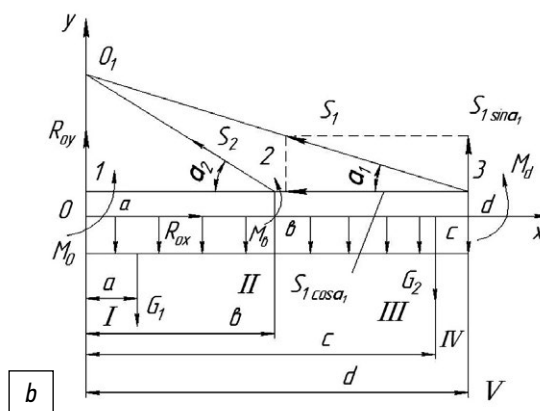
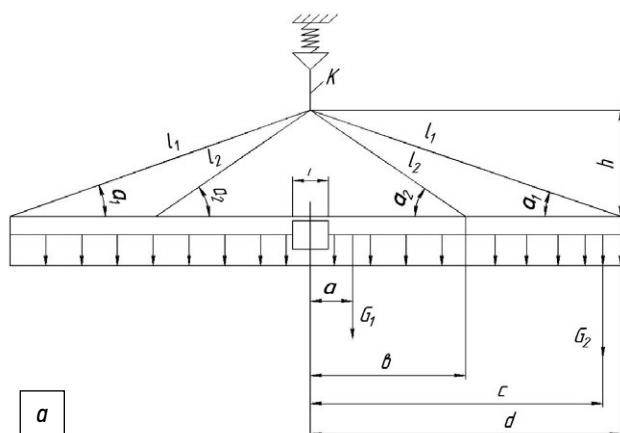


Рис. 2. Расчетная схема несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки: а) общая; б) правая часть.
Fig. 2. Analytical model of the supporting structure of the finely-dispersing sprinkler installation: а) general; б) right side.

$$\sum M_d = 0;$$

$$R_{oy} \cdot d - M_o - q \frac{d^2}{2} - G(d - a + d - c) - S_2 \cos \alpha_2 h \left(1 - \frac{d-b}{h} \operatorname{tg} \alpha_2 \right) - S_1 h \cos \alpha_1 \left(1 - \frac{d-c}{h} \operatorname{tg} \alpha_1 \right) = 0. \quad (5)$$

Система уравнений (3)–(5) содержит пять неизвестных: R_{ox} , R_{oy} , S_1 , S_2 и M_o .

При заданных углах α_1 и α_2 можно получить:

$$S_{1x} = S_1 \cdot \cos \alpha_1; \quad S_{1y} = S_1 \cdot \sin \alpha_1; \quad (6)$$

$$S_{2x} = S_2 \cdot \cos \alpha_2; \quad S_{2y} = S_2 \cdot \sin \alpha_2. \quad (7)$$

Начало координат выбрано в точке О — пересечения оси трубы с сечением заделки, в котором принимается: при $z = 0$; $y(0) = 0$; $y'(0) = 0$. Тогда, пользуясь методом начальных параметров, уравнение прогибов записывается в виде [7]:

$$EJ_{xy} = R_{oy} \frac{x^3}{6} - M_o \frac{x^2}{2} - q \frac{x^4}{24} \Big|_I - G \frac{(x-a)^3}{6} \Big|_{II} + S_2 \sin \alpha_2 \frac{(x-b)^3}{6} - S_2 \cos \alpha_2 h \frac{(x-b)^2}{2} \Big|_{III} - G \frac{(x-c)^3}{6} \Big|_{IV} + S_1 \sin \alpha_1 \frac{(x-d)^3}{6} - S_1 h \cos \alpha_1 \frac{(x-d)^2}{2} \Big|_Y. \quad (8)$$

В последнем уравнении принято за положительные направления силы, направленные вверх, а моменты — по часовой стрелке. Причем, при его составлении принято $x \succ d$.

Преобразуем уравнение (8) в виде:

$$EJ_x y = EJ_x y_0 + EJ_x O_0 x + R_{oy} \frac{x^3}{6} - M_0 \frac{x^2}{2} - q \frac{x^4}{24} \Big|_I - G \frac{(x-a)^3}{6} \Big|_{II} + \frac{S_2 h \cos \alpha_2}{2} \cdot \left[\frac{(x-e)^3}{3h} \operatorname{tg} \alpha_2 - (x-e)^2 \right] \Big|_{III} - G \frac{(x-c)^3}{6} \Big|_{IV}. \quad (9)$$

Приняв, что тросы натянуты таким образом, что в сечениях их присоединения к распределительному трубопроводу прогибы задаются, исходя из условия равнагрузки тросов, то есть в этих сечениях реализованы следующие граничные условия: при $x = b$, $y(b) = A$ и при $x = \ell$, $y(\ell) = B$, получим:

$$A = R_{oy} \frac{b^3}{6} - M_0 \frac{b^2}{2} - q \frac{b^4}{24} - G \frac{(b-a)^3}{6}; \quad (10)$$

$$B = R_{oy} \frac{\ell^3}{6} - M_0 \frac{\ell^2}{2} - q \frac{\ell^4}{24} - G \frac{(\ell-a)^3}{6} + \frac{S_2 h \cos \alpha_2}{2} \cdot \left[\frac{(\ell-b)^3}{3h} \operatorname{tg} \alpha_2 - (\ell-b)^2 \right] - G \frac{(\ell-c)^3}{6}. \quad (11)$$

Приведенная система, кроме пяти усилий и моментов, содержит еще прогибы A и B , для определения которых нужно сформулировать дополнительное условие об оптимальных прогибах в этих точках, при которых реализуется равнагруженность тросов, или задаются допустимые натяжения тросов и определяются A и B .

В частном случае эти прогибы могут быть приняты равными 0.

В этом случае получаем систему из пяти уравнений (1–3) и (10–11), содержащую пять искоемых величин. Из нее получены замкнутые формулы для этих неизвестных.

Для расчета основных параметров несущей конструкции и дальнейшей их оптимизации математическая модель принимает вид:

$$R_{ox} - S_1 \cos \alpha_1 - S_2 \cos \alpha_2 = 0; \quad (12)$$

$$R_{oy} + S_1 \sin \alpha_1 + S_2 \sin \alpha_2 - q\ell - 2G = 0; \quad (13)$$

$$R_{oy} \ell - M_0 - q \frac{\ell^2}{2} - G(2\ell - a - c) - S_2 \cos \alpha_2 h \left(1 - \frac{\ell-b}{h} \operatorname{tg} \alpha_2 \right) - S_1 h \cos \alpha_1 \left(1 - \frac{\ell-c}{h} \operatorname{tg} \alpha_1 \right) = 0; \quad (14)$$

$$R_{oy} \frac{b^3}{6} - M_0 \frac{b^2}{2} - q \frac{b^4}{24} - G \frac{(b-a)^3}{6} = 0; \quad (15)$$

$$R_{oy} \frac{b_1^3}{6} - M_0 \frac{b_1^2}{2} - q \frac{b_1^4}{24} - G \frac{(b_1-a)^3}{6} + S_2 \frac{h \cos \alpha_2}{2} \left[\frac{(b_1-b)^3}{3h} \operatorname{tg} \alpha_2 - (b_1-b)^2 \right] = 0. \quad (16)$$

Система уравнений (12)–(16) соответствует расчетной схеме, представленной на рис. 3, в ней предусматривается консоль длиной X_1 для уменьшения сжимаемой длины распределительного устройства.

Уравнения (12)–(16) позволяют решать оптимизационные задачи при различных вариантах компоновки несущей конструкции с одним или двумя поддерживающими канатами, при различных длинах пролета, местах крепления канатов, высотах подвеса и поперечных сечениях трубопровода, т.е. варьируемых параметров — пять. Поскольку число варьируемых параметров велико, то оптимизацию проводим методом целенаправленного перебора параметров (метод Гемерлинга).

Ограничивающими условиями при моделировании являются: выполнение условия устойчивости (коэффициент запаса устойчивости $K_{зан} = 1,5$); условие прочности (фактические напряжения в сечении трубопровода должны быть меньше или равны допускаемым для материала трубопровода $\sigma_{\max.ф.} \leq [\sigma]_{II} = 160$ МПа); технологические требования к общей длине трубопровода, к его внутреннему диаметру и к количеству распылителей; требования стандарта к материалу и наружному диаметру трубопровода.

Решение системы уравнений (12)–(16) и проверка работоспособности несущей конструкции по критериям прочности и устойчивости произведена на ЭВМ с использованием программы MATLAB.6.

Оптимизационные задачи решались для 4 вариантов компоновки несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки: вариант 1 — конструкция с одним поддерживающим канатом и длиной пролета одного крыла $\ell = 7,5$ м; вариант 2 — конструкция с одним поддерживающим канатом и длиной пролета одного крыла $\ell = 12,5$ м; вариант 3 — конструкция с двумя поддерживающими канатами и длиной пролета одного крыла $\ell = 7,5$ м; вариант 4 — конструкция с двумя

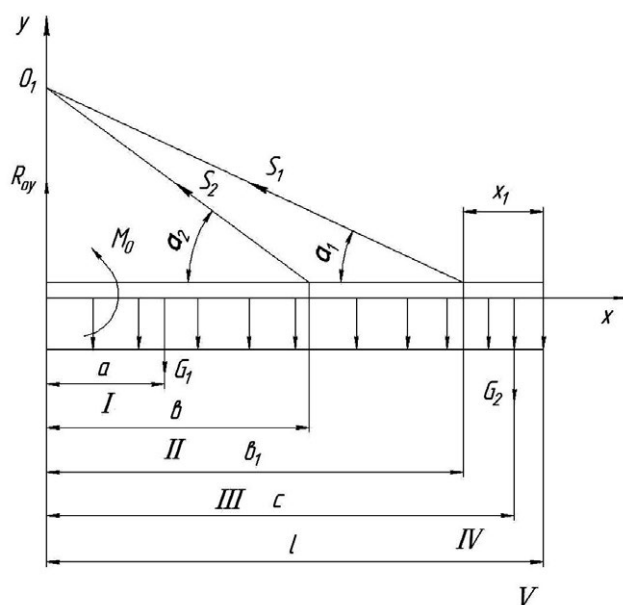


Рис. 3. Общая схема расчета мелкодисперсной дождевальной установки.

Fig. 3. General analytical model of the finely-dispersing sprinkler installation with a console.

поддерживающими канатами и длиной пролета одного крыла $\ell = 12,5$ м.

В ходе обработки данных оптимизационных задач для вариантов компоновки конструкции мелкодисперсной дождевальной установки получены следующие результаты.

Вариант 1. Несущая конструкция с одним поддерживающим канатом с длиной пролета $\ell = 7,5$ м и креплением каната в конце трубопровода сверху.

Проведенными расчетами выявлено, что достаточный запас устойчивости $K_{\text{зап}} = 1,5$ не обеспечивается (в данном случае $K_{\text{зап}} = 1,16$).

Для повышения запаса устойчивости целесообразно уменьшить сжимаемую длину трубопровода, перемещая точку крепления каната от конца на такую величину, чтобы в сечении точки закрепления каната выполнялось бы условие прочности, т.е. фактические напряжения были равны или меньше допускаемых напряжений для материала трубопровода ($\sigma_{x1} \leq [\sigma]_{\text{н}} = 160$ МПа).

Для данного случая нами были проведены расчеты с варьированием длины консоли X_1 в пределах от 0 до 3,5 м, при высоте подвеса $H_{\text{подв}} = 0,45$ м.

Анализируя полученные результаты можно заключить, что наиболее оптимальным является крепление каната с консолью $X_1 = 1,5$ м от конца трубопровода, так как при этом коэффициент запаса устойчивости $K_{\text{зап}} = 1,59$, в то же время обеспечивается прочность.

При этом максимальные изгибающие напряжения в заделке составляют 49,9 МПа, а в сечении крепления каната 20,27 МПа, что меньше допускаемых $[\sigma]_{\text{н}} = 160$ МПа, максимальный прогиб в пролете составляет 20 мм и на конце консоли 14,54 мм, что вполне допустимо (рис. 4).

Вариант 2. Несущая конструкция с одним поддерживающим канатом и длиной пролета $\ell = 12,5$ м.

Для повышения технологических параметров установки, в частности ширины захвата, нами рассчитан вариант при длине пролета 12,5 м с варьированием длины консоли в пределах от 0 до 4,0 м при высоте подвеса $H_{\text{подв}} = 0,45$ м.

Полученные в этом случае результаты показывают, что ни по одному критерию работоспособность конструкции не обеспечивается: максимальные напряжения в заделке составляют 235 МПа, что выше допустимого значения, коэффициент запаса устойчивости $K_{\text{зап}} = 0,27$, а максимальные прогибы в пролете и на консоли составляют соответственно 478,8 мм и 156,2 мм.

В связи с этим, с целью повышению прочностных показателей конструкции нами проведены расчеты при фиксированной длине консоли $X_1 = 1,0$ м с варьированием высоты подвеса в пределах от 0,45 м до 1,95 м.

При этом варианте изгибающие напряжения в заделке снизились до 198,7 МПа, прогибы в пролете до 340,9 мм, на консоли до 125 мм, а коэффициент устойчивости повысился до 0,71. Но ни один из этих показателей так же не соответствует допускаемым значениям.

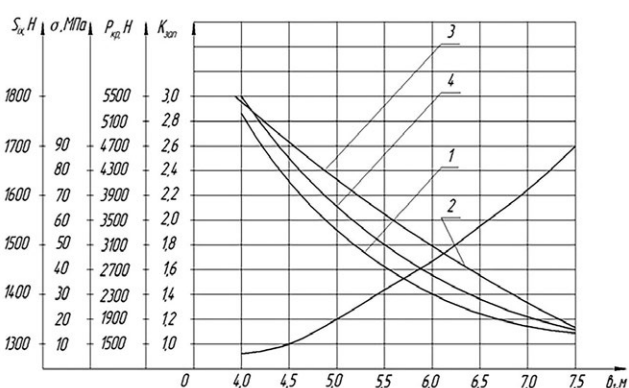


Рис. 4. Графики зависимости усилия в канате (1), напряжений в заделке (2), критической силы (3) и коэффициента запаса устойчивости (4) в зависимости от сжимаемой длины несущей конструкции при одном поддерживающем канате.

Fig. 4. Graphs of the force in the rope (1), stresses at the fixation (2), critical force (3) and the stability margin coefficient (4) depending on the compressible length of the supporting structure with a single supporting rope.

Исходя из этого рассмотрен вариант варьирования поперечным сечением трубопровода при фиксированных значениях высоты подвеса $H_{\text{подв}} = 0,95$ м и длине консоли $X_1 = 1,0$ м.

Анализ полученных результатов показал, что при использовании распределительного трубопровода с наружным диаметром 59,6 мм и внутренним диаметром 50 мм значения прочностных показателей работоспособности находятся в допустимых пределах: максимальные напряжения в заделке 96,4 МПа, коэффициент запаса устойчивости составляет 1,4, максимальный прогиб в пролете 82,7 мм и на консоли 28,9 мм. Однако, увеличение поперечного сечения трубопровода приводит к возрастанию веса конструкции в 2,07 раза.

Поэтому нами предложен и рассчитан вариант установки второго поддерживающего троса.

Вариант 3. Несущая конструкция с двумя поддерживающими канатами при длине пролета $l = 7,5$ м.

Для данного варианта конструкции, при закреплении первого каната на конце трубопровода ($b_1 = 7,5$ м), а второго каната в середине пролета ($b = 3,75$ м) все граничные условия соблюдаются полностью: максимальные напряжения — 17,7 МПа, прогиб максимальный в пролете — 3,66 мм, коэффициент запаса устойчивости — 3,2 (рис. 5).

Вариант 4. Несущая конструкция с двумя поддерживающими канатами при длине пролета $l = 12,5$ м.

Для данного случая, при постоянных значениях высоты подвеса $H_{\text{подв}} = 0,45$ м и точки крепления второго каната $b = 6,5$ м от заделки, варьировали длиной консоли X_1 в пределах от 0 до 5,75 м.

Анализ полученных результатов показал, что при длине консоли 4,0–5,0 м показатели прочности и устойчивости находятся в допустимых пределах: максимальные изгибающие напряжения в заделке 113 МПа, в сечении крепления каната 157 МПа, коэффициент запаса устойчивости 1,51–1,87. Однако максимальные прогибы на консоли велики: от 249,9 мм до 625,1 мм, что не допустимо.

В связи с этим, как и в предыдущем варианте, варьирuem высотой подвеса установки от 0,45 м до 1,95 м при постоянной длине консоли $X_1 = 1,0$ м и креплении второго каната на расстоянии $b = 6,5$ м от заделки (рис. 6). При этом значения максимальных изгибающих напряжений в заделке и сечении крепления каната резко снижаются и составляют соответственно 48,95 МПа, и 19,69 МПа, а коэффициент запаса

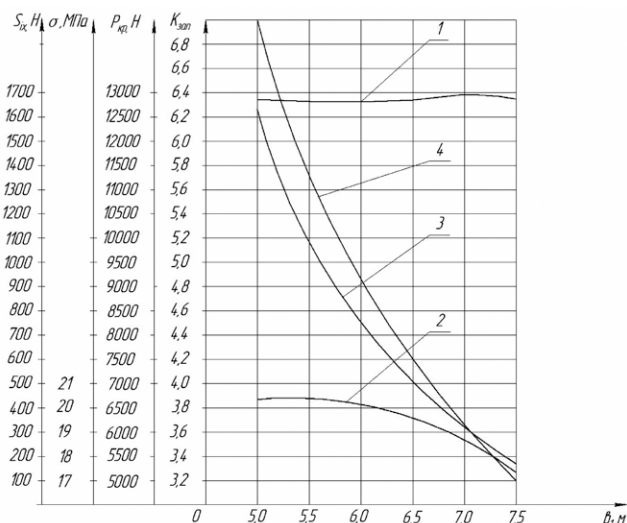


Рис. 5. Графики зависимости усилия в канате (1), напряжений в заделке (2), критической силы (3) и коэффициента запаса устойчивости (4) в зависимости от сжимаемой длины распределительного устройства при двух поддерживающих канатах.

Fig. 5. Graphs of the force in the rope (1), the stresses at the fixation (2), the critical force (3) and the stability margin coefficient (4) depending on the compressible length of the switchgear with two supporting ropes.

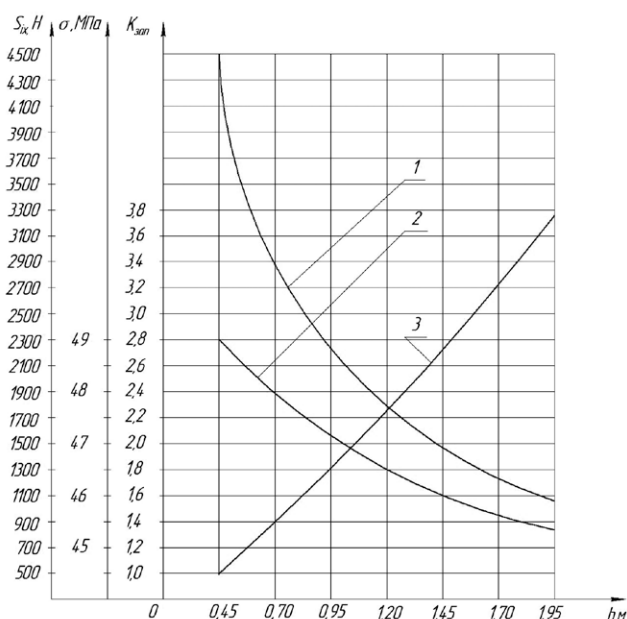


Рис. 6. Графики зависимости усилий в канатах (1), напряжений в заделке (2) и коэффициента запаса устойчивости (3) в зависимости от высоты подвески несущей конструкции.

Fig. 6. Graphs of the forces in the ropes (1), stresses at the fixation (2) and the stability margin coefficient (3) depending on the height of the supporting structure suspension.

устойчивости при высоте подвеса 0,7–1,95 м возрастает с 1,38 до 3,75.

Максимальные прогибы в пролете и на консоли малы и равны 20,17 мм и 5,72 мм соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При длине трубопровода $\ell = 7,5$ м и одном поддерживающем канате оптимальными параметрами, обеспечивающими заданные ограничения являются: консоль — 1,5 м: высота подвеса — 0,45 м: наружный и внутренний диаметры трубопровода 33,5 мм и 25 мм.

При длине трубопровода $\ell = 7,5$ м и двух поддерживающих канатах оптимальными параметрами, обеспечивающими заданные ограничения являются: консоль 0 м: высота подвеса 0,45 м: наружный и внутренний диаметры трубопровода 33,5 мм и 25 мм.

При длине трубопровода $\ell = 12,5$ м и двух поддерживающих канатах оптимальными параметрами, обеспечивающими заданные ограничения являются: консоль 1,5 м: высота подвеса 0,7 м: наружный и внутренний диаметры трубопровода 33,5 мм и 25 мм.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. А.К. Апажев — научное руководство, формулирование основных направлений исследования, участие в обсуждении материалов статьи; Ю.А. Шекихачев — разработка математической модели и программы для ЭВМ, участие в обсуждении материалов статьи; Л.М. Хажметов — разработка и проведение исследований несущей конструкции мелкодисперсной дождевальной установки, формирование общих выводов; Т.Х. Пазова — обработка результатов исследований, участие в обсуждении материалов статьи; А.Г. Фиапшев — поиск материалов в отечественных и зарубежных источниках, участие в обсуждении материалов статьи; А.Л. Хажметова — обработка результатов исследований, участие в обсуждении материалов статьи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад

в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.K. Apazhev — scientific guidance, formulation of the main directions of research, participation in the discussion of the manuscript materials; Yu.A. Shekikhachev — development of the mathematical model and a computer program, participation in the discussion of the materials of the manuscript; L.M. Khazhmetov — development and research of the supporting structure of a finely-dispersing sprinkler installation, the formation of general conclusions; T.Kh. Pazova — processing of research results, participation in the discussion of the materials of the manuscript; A.G. Fiapshev — search for materials in domestic and foreign sources, participation in the discussion of the manuscript materials; A.L. Khazhmetova — processing of research results, participation in the discussion of the manuscript materials. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бербеков В.Н., Бакуев Ж.Х., Бишенов Х.З., и др. Интенсивные сады яблони на террасированных склонах // Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России. Сборник докладов по материалам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2019. С. 375–377.
2. Бербеков В.Н., Бакуев Ж.Х., Бишенов Х.З. Краткий отчет о проведенной коллективом ФГБНУ «Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного садоводства» НИОКР за 2020 год // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2021. Т. 32. С. 86–92.
3. Apazhev A.K., Berbekov V.N., Shekikhachev Y.A., et al. Environmental engineering approach for ecologization of plant

protection systems // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 919. P. 62002. doi: 10.1088/1757-899X/919/6/062002

4. Варквасова М.А., Бишенов Х.З. Орошение садов и роль почвенной влаги на галечниковых землях // Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России. Сборник докладов по материалам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2019. С. 377–382.
5. Васильев С.М., Бабичев А.Н. Основные принципы формирования устойчивости мелиорированных агроландшафтов // Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3, № 1. С. 1–10. doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-1-1-10
6. Васильев С.М. Водосберегающие технологии орошения и рациональное использование водных ресурсов в АПК Рос-

сии // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения). Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 6–11.

7. Васильев С.М., Шкура В.Н., Штанько А.С. Локальные контуры капельного увлажнения почв, формирующиеся на склоновых землях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 279–289. doi: 10.32786/2071-9485-2020-01-28.

8. Vasilyev S.M., Babichev A.N., Olgarenko V.I. Applying the precision irrigation technology to address the deficit of water resources in the South of Russia // *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 206. Heidelberg: Springer, 2021. С. 789–795. doi: 10.1007/978-3-030-72110-7_86

9. Шевченко В.А. Вовлечение в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 12–16.

10. Шевченко В.А., Лытов М.Н. Стратегии возобновления использования ранее выведенных из оборота ме-

лиорированных земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 283–296. doi: 10.32786/2071-9485-2021-04-30

11. Шевченко В.А., Бородычев В.В., Соловьев А.М. Влияние систем удобрения и предшественников на водные свойства залежных земель, при вовлечении их в сельскохозяйственный оборот // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1 (45). С. 115–121. doi: 10.52671/20790996_2021_1_115

12. Кочетов И.С. Адаптивно-ландшафтное земледелие России: проблемы и задачи. // В сборнике «Состояние и перспективы развития сельского хозяйства в горах и предгорьях Российской Федерации». Владикавказ, 2001. С. 3–14.

13. Патент РФ № RU 58848 / 10.12.2006. Бюл. № 34. Хажметов Л.М., Шекихачев Ю.А., Бербеков В.Н. и др. Комбинированная установка для ухода за кронами плодовых деревьев. [дата обращения: 24.04.2023] Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU58848U1_20061210

REFERENCES

1. Berbekov VN, Bakuev ZhKh, Bishenov KhZ, et al. Intensive apple orchards on terraced slopes. In: *Actual problems and prospects for the development of agriculture in the South of Russia. Collection of reports based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)*. Maykop; 2019:375–377. (in Russ).

2. Berbekov VN, Bakuev ZhKh, Bishenov KhZ. Brief report on the research and development done by the staff of the Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasian Research Institute of Mountain and Piedmont Gardening” for 2020. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federalnogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vino-gradarstva, vinodeliya*. 2021;32:86–92. (in Russ).

3. Apazhev AK, Berbekov VN, Shekikhachev YA, et al. Environmental engineering approach for ecologization of plant protection systems. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020;919:62002. doi: 10.1088/1757-899X/919/6/062002

4. Varkvasova MA, Bishenov KhZ. Irrigation of orchards and the role of soil moisture on pebble lands. In: *Actual problems and prospects for the development of agriculture in the South of Russia. Collection of reports based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)*. Maykop; 2019:377–382. (in Russ).

5. Vasiliev SM, Babichev AN. Basic principles for the formation of sustainability of reclaimed agricultural landscapes. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*. 2021;3(1):1–10. (in Russ). doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-1-1-10

6. Vasiliev SM. Water-saving irrigation technologies and rational use of water resources in the agro-industrial complex of Russia. In: *Modern problems of the development of melioration and ways to solve them (Kostyakov readings). Materials of the international scientific-practical conference*. Moscow; 2020:6–11.

7. Vasiliev SM, Shkura VN, Shtanko AS. Local contours of drip soil moisture formed on sloping lands. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professi-onalnoe obrazovanie*. 2020;1(57):279–289. (in Russ). doi: 10.32786/2071-9485-2020-01-28

8. Vasilyev SM, Babichev AN, Olgarenko VI. Applying the precision irrigation technology to address the deficit of water resources in the South of Russia. In: *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 206. Heidelberg: Springer; 2021:789–795. doi: 10.1007/978-3-030-72110-7_86.

9. Shevchenko VA. Involvement in the turnover of unused agricultural land. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2021;4:12–16. (in Russ).

10. Shevchenko VA, Lytov MN. Strategies for the resumption of the use of previously withdrawn reclaimed lands. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professi-onalnoe obrazovanie*. 2021;4(64):283–296. (in Russ). doi: 10.32786/2071-9485-2021-04-30

11. Shevchenko VA, Borodychev VV, Soloviev AM. Influence of fertilizer systems and precursors on the water properties of fallow lands, when they are involved in agricultural turnover. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2021;1(45):115–121. (in Russ). doi: 10.52671/20790996_2021_1_115

12. Kochetov IS. Adaptive-landscape agriculture in Russia: problems and tasks. In: *The state and prospects for the development of agriculture in the mountains and foothills of the Russian Federation*. Vladikavkaz; 2001:3–14.

13. Patent RUS № RU 58848 / 10.12.2006. Byul. № 34. Khazhmetov LM, Shekikhachev YuA, Berbekov VN, et al. Kombinirovannaya ustanovka dlya ukhoda za kronami plodovykh derevyev. Accessed: 24.04.2023. Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU58848U1_20061210

ОБ АВТОРАХ

* Шекихачев Юрий Ахметханович,

профессор, д-р техн. наук,
декан факультета механизации и энергообеспечения
предприятий;
адрес: Российская Федерация, Кабардино-Балкарская
Республика, 360030, Нальчик, пр-т Ленина, д. 1 в;
ORCID: 0000-0001-6300-0823;
eLibrary SPIN: 4107-1360;
e-mail: shek-fmep@mail.ru

Апажев Аслан Каральбиевич,

профессор, д-р техн. наук,
профессор кафедры технической механики и физики;
ORCID: 0000-0002-5448-5782;
eLibrary SPIN: 1530-1950;
e-mail: kbr.apagev@yandex.ru

Хажметов Луан Мухажевич,

профессор, д-р техн. наук,
профессор кафедры технической механики и физики;
ORCID: 0000-0001-5830-4355;
eLibrary SPIN: 6145-0808;
e-mail: hajmetov@yandex.ru

Пазова Таймира Хасановна,

доцент, д-р техн. наук,
доцент кафедры механизации сельского хозяйства;
ORCID: 0000-0002-6206-8612;
eLibrary SPIN: 6588-3849;
e-mail: pazova65@mail.ru

Фиапшев Амур Григорьевич,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры энергообеспечения предприятий;
ORCID: 0000-0002-3080-0901;
eLibrary SPIN: 2111-4506;
e-mail: energo.kbr@rambler.ru

Хажметова Алина Лиуановна,

канд. техн. наук,
старший преподаватель кафедры механизации
сельского хозяйства;
ORCID: 0009-0003-6286-7363;
eLibrary SPIN: 8402-3461;
e-mail: alinahazhmetova@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

* Yury A. Shekikhachev,

Professor, Dr. Sci. (Tech.),
Dean of the Mechanization and Energy Supply of Enterprises
Faculty;
address: 1v Lenina Avenue, 360030 Nalchik, Kabardino-Balkarian
Republic, Russian Federation;
ORCID: 0000-0001-6300-0823;
eLibrary SPIN: 4107-1360;
e-mail: shek-fmep@mail.ru

Aslan K. Apazhev,

Professor, Dr. Sci. (Tech.),
Professor of the Technical Mechanics and Physics Department;
ORCID: 0000-0002-5448-5782;
eLibrary SPIN: 1530-1950;
e-mail: kbr.apagev@yandex.ru

Luan M. Khazhmetov,

Professor, Dr. Sci. (Tech.),
Professor of the Technical Mechanics and Physics Department;
ORCID: 0000-0001-5830-4355;
eLibrary SPIN: 6145-0808;
e-mail: hajmetov@yandex.ru

Taimira Kh. Pazova,

Associate Professor, Dr. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Agricultural Mechanization Department;
ORCID: 0000-0002-6206-8612;
eLibrary SPIN: 6588-3849;
e-mail: pazova65@mail.ru

Amur G. Fiapshev,

Associate Professor, Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Energy Supply of Enterprises
Department;
ORCID: 0000-0002-3080-0901;
eLibrary SPIN: 2111-4506;
e-mail: energo.kbr@rambler.ru

Alina L. Khazhmetova,

Cand. Sci. (Tech.),
Senior Lecturer of the Agricultural Mechanization
Department;
ORCID: 0009-0003-6286-7363;
eLibrary SPIN: 8402-3461;
e-mail: alinahazhmetova@yandex.ru

* Corresponding author