

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕЖКИ ДЛЯ РУЧНОГО СБОРА ЯГОД ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

IMPROVING THE DESIGN OF THE TROLLEY FOR THE MANUAL HARVESTING OF STRAWBERRY

В.Н. ОЖЕРЕЛЬЕВ¹, д.с.-х.н.

М.В. ОЖЕРЕЛЬЕВА², д.э.н.

В.В. СОМИН¹

¹ Брянский государственный аграрный университет,
Брянск, Россия

² Брянский государственный технический университет,
Брянск, Россия, vicoz@bk.ru

V.N. OZHERELEV¹, DSc in Agricultural

M.V. OZHERELEVA², DSc in Economic

V.V. SOMIN¹

¹ Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

² Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia,
vicoz@bk.ru

Основной целью исследования является выявление степени влияния асимметричности сил сопротивления перекатыванию колес тележки, предназначенной для перемещения сборщика по плантации земляники садовой при ручном сборе ягод, на устойчивость ее прямолинейного движения. Теоретическая гипотеза была сформулирована по отношению к трехколесной тележке, переднее колесо которой является управляемым и размещено в центральном междурядье, а задние колеса – в двух соседних с ним. Согласно результатам расчетов, при такой компоновке тележки обеспечение прямолинейности ее движения только за счет варьирования положением опорной точки для ноги сборщика при его отталкивании от поверхности междурядья затруднительно уже при двукратном увеличении силы сопротивления перекатыванию для одного из колес. В результате тяговых испытаний экспериментальной трехколесной тележки установлено, что при использовании колес от серийного велосипеда диаметром 700 мм и ее дополнительном нагружении балластом весом в 704,6 Н, имитирующим средний вес сборщика, трехкратная разница между усилиями перекатывания колес возникает при появлении дополнительного препятствия перед одним из них высотой всего в 13 мм. При доведении высоты дополнительного препятствия до 45 мм степень дифференциации между силами сопротивления перекатыванию колес увеличивается до 8,3 раза. В связи с этим тележку целесообразно снабжать устройством для дополнительной ручной корректировки процесса ее прямолинейного движения по междурядьям. В экспериментальном варианте тележки для этой цели на оси вращения вилки переднего колеса был смонтирован рычаг, свободный конец которого выведен в зону, удобную для доступа левой руки сборщика.

Ключевые слова: ягоды, земляника садовая, тележка для ручного сбора, сопротивление перекатыванию, прямолинейность движения.

The main goal of the research is to identify the degree of influence of the asymmetry of the resistance forces on the rolling wheels of a trolley designed to relocate the picker in the strawberry garden plantation when hand picking berries on the stability of its straight-line movement. The theoretical hypothesis was formulated in relation to a three-wheeled cart, the front wheel of which is controllable and located in the central aisle, and the rear wheels – in two adjacent wheels. According to the results of calculations, with such an arrangement of the cart, ensuring the straightness of its movement only by varying the position of the reference point for the collector's leg when it is pushed away from the aisle surface is already difficult with a twofold increase in the resistance to rolling for one of the wheels. As a result of an experimental three-wheeled trolley test, it was found that when using wheels from a 700-mm diameter bike and its additional loading with ballast weighing 704,6 N, simulating the average weight of the picker, the triple difference between the wheel rolling forces occurs when an additional obstacle appears in front of one of they are only 13 mm high. When raising the height of an additional obstacle to 45 mm, the degree of differentiation between the forces of resistance to rolling wheels increased to 8,3 times. In this regard, it is advisable to supply the trolley with a device for additional manual adjustment of the process of its straight-line movement along the rows. In the experimental version of the trolley for this purpose, a lever was mounted on the axis of rotation of the front wheel fork, the free end of which was brought into a zone convenient for access by the assembler's left hand.

Keywords: berries, strawberries, a trolley for manual harvesting, resistance to rolling, straightness of movement.

Введение

Здоровье и долголетие нации напрямую связаны, в том числе, и с объемом потребляемых каждым человеком плодов и ягод. Наиболее значимой для нас ягодой является земляника садовая, на которую приходится более 70 % от суммарного объема производимых в мире ягод [1]. Национальное производство земляники в России составляет всего 1,35 кг/чел. в год, что в 3,3–3,8 раза меньше, чем в США или Польше. Это не позволяет сформировать для россиян здоровый рацион питания [2].

Следует отметить, что росту объема производства ягод земляники садовой в России препятствует не только суровый климат на большей части ее территории, но и существенное отставание в рационализации уборки урожая, в связи с чем затраты на нее могут варьироваться в пределах от 40 до 70 % всех издержек производства (в зависимости от технологии и способа его организации) [3]. В условиях небольшого фермерского хозяйства (Брянская область) трудоемкость ручного сбора ягод в 2018 г. составила 58 % от суммарного сезонного показателя.

В настоящее время в качестве основного средства рационализации труда сборщиков ягод нашли широкое практическое применение тележки для их перемещения по плантации посредством привода колес от источника энергии или мускульной силы ног человека [4]. В условиях Швейцарии за счет этого удалось довести сезонную нагрузку на сборщика ягод земляники до 0,25–0,3 га плантации, что свидетельствует о высокой эффективности этого достаточно простого оборудования [5].

Конструкция и цена тележек варьируются в широких пределах (от 200 до 900 Евро), что свидетельствует о незавершенности исследовательской работы по этому направлению техники. В частности, остается дискуссионным вопрос о ручной корректировке траектории движения колес по междурядьям. В связи с этим актуальной научной задачей является теоретическое и экспериментальное изучение характера и основных параметров силового взаимодействия колес тележки индивидуального использования с препятствиями, характерными для поверхности междурядий земляники садовой.

Цель исследования

Выявление степени влияния асимметричности сил сопротивления перекачиванию колес тележки, предназначенной для переме-

щения сборщика по плантации земляники садовой при ручном сборе ягод, на устойчивость ее прямолинейного движения.

Формулировка рабочей гипотезы

С точки зрения достижения оптимального сочетания между ценой оборудования и его функциональным совершенством представляется целесообразным использовать трехколесную одноместную тележку с передним поворотным колесом (рис. 1). В литературе приводятся сведения о том, что корректировать направление движения такой тележки возможно путем асимметричного отталкивания ногами от поверхности междурядья (вектор P_3 на рис. 1) [6, 7]. Оценим пределы такой возможности при разной степени дифференциации величины сил сопротивления (P_1 и P_2), действующих на задние колеса.

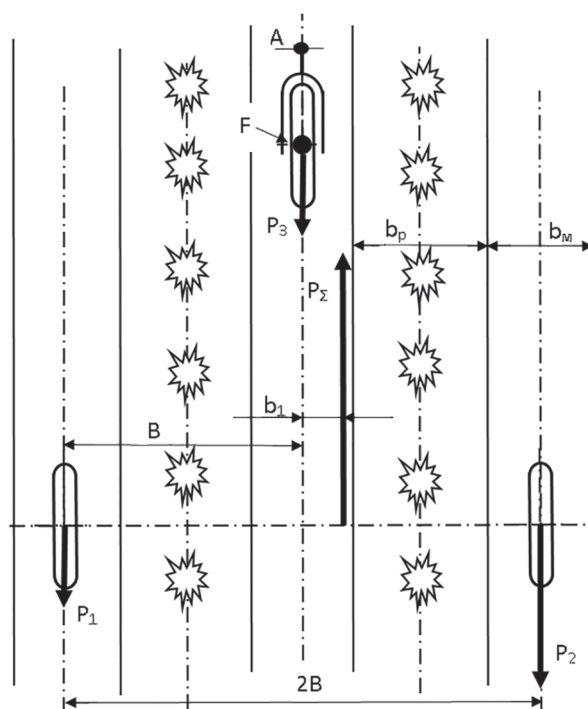


Рис. 1. Условие силового равновесия тележки в горизонтальной плоскости

Рассмотрим нагрузки, действующие на опорные колеса тележки. При этом будем считать, что вилка переднего колеса может свободно поворачиваться относительно вертикального шарнира, размещенного в точке A (рис. 1). Кроме того, полагаем, что задние (неуправляемые) колеса имеют поперечную колею, равную $2B$, где B – расстояние между осями симметрии соседних рядов земляники садовой.

Очевидно, что при симметричном размещении сборщика и одинаковой величине силы сопротивления перекачиванию для всех колес равновесие системы в горизонтальной плоскости гарантировано. Действительно, если сопротивление перекачиванию на правом и левом задних колесах одинаково, то момент указанных сил относительно центра F пятна контакта с почвой переднего (самоустанавливающегося) колеса равен нулю. То есть, отталкиваясь ногами от центра среднего междурядья, сборщик может сохранять прямолинейность движения тележки, не воздействуя дополнительно на переднее колесо. Небольшие возмущения должна гасить сила трения, возникающая на поверхности пятна контакта, а также боковой увод шины при наличии соответствующего поперечного профиля поверхности междурядья.

Однако на реальной плантации такие идеальные условия встречаются крайне редко. Поверхность междурядий периодически рыхлится. Кроме того, часто используется технологический прием мульчирования междурядий соломой. В этих условиях величина сопротивления каждого из трех колес может варьироваться в широких пределах, что является главным возмущающим моментом, препятствующим устойчивому прямолинейному перемещению тележки.

Следует также иметь в виду, что во многих зонах производства земляники садовой июнь и июль являются наиболее дождливыми месяцами года. Иногда после дождя в междурядьях образуются локальные лужи, после испарения и фильтрации воды из которых в нижние слои почвы поверхность на некоторое время в значительной степени теряет несущую способность, вследствие чего одно из колес может продавливать колею значительной глубины, что самым отрицательным образом сказывается на стабильности прямолинейного перемещения тележки.

Рассмотрим один из возможных вариантов силового взаимодействия мускульного усилия сборщика P_{Σ} и неравномерного распределения величины сил сопротивления перекачиванию на колесах тележки. Полагаем, что сборщик размещен на тележке спиной вперед по ходу ее движения, силы сопротивления перекачиванию на левом заднем и на переднем колесе равны между собой, а правое заднее колесо испытывает сопротивление перекачиванию,

существенно превышающее их по своей величине. То есть

$$P_1 = P_3, \text{ а } P_2 = nP_1. \quad (1)$$

Для имитации асимметричного отталкивания приложим силу мускульного усилия сборщика P_{Σ} на расстоянии b_1 справа от оси симметрии тележки и, соответственно, оси симметрии центрального междурядья (рис. 1). Определим величину асимметрии b_1 , необходимую для обеспечения устойчивого прямолинейного перемещения тележки, и сопоставим ее с поперечной структурой размещения растений в насаждении.

С этой целью рассмотрим равновесное состояние системы относительно центра пятна контакта F переднего колеса с поверхностью центрального междурядья. То есть

$$\Sigma M_F(P_i) = 0,$$

где P_i – силы сопротивления перекачиванию колес и мускульное усилие ног сборщика P_{Σ} .

Тогда

$$P_{\Sigma}b_1 + P_1B - P_2B = 0.$$

С учетом (1), а также полагая, что $P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3$, имеем:

$$(2+n)P_1b_1 + P_1B - nP_1B = 0,$$

где n – отношение величины силы P_2 к P_1 , раз; B – расстояние между осями соседних междурядий, м.

Следовательно, для обеспечения прямолинейности движения тележки величина бокового отклонения точки контакта ноги сборщика с поверхностью междурядья от его оси (при отталкивании) определяется выражением:

$$b_1 = \frac{B(n-1)}{2+n}.$$

Если принять, что $B = 0,9$ м (наиболее распространенная схема посадки земляники садовой), то при $n = 2$ $b_1 = 0,225$ м. А поскольку $2b_1 < b_m$, то для обеспечения возможности выравнивания тележки посредством асимметричного отталкивания сборщика ногами в данном варианте расчета ширина междурядья (b_m) должна превышать 0,45 м, то есть составлять половину расстояния B между осями соседних рядов (или междурядий). Не всегда такая схема размещения растений может считаться приемлемой, поскольку слишком мала ширина ряда растений b_p , и, соответственно, велика доля неиспользуемой активно площади плантации.

При дальнейшем возрастании степени дифференциации сил сопротивления перекачиванию задних колес ситуация становится очевидно неприемлемой. Действительно, если при той же величине B принять $n = 3$, то $b_1 = 0,36$ м. При таком варианте до 80 % площади плантации может остаться неиспользованной. В противном случае сборщик при асимметричном отталкивании должен затаптывать значительное число растений и недозревших ягод. Между тем, как правило, именно по краям рядов концентрируется большая и наиболее качественная часть урожая.

Таким образом, при наличии критически большой разницы между сопротивлением на правом и левом колесе сборщик не в состоянии выправить положение тележки, не прибегая к использованию дополнительных органов управления.

Материалы и методы

Цель эксперимента заключалась в оценке влияния высоты неровностей почвы на тяговое усилие (или усилие толкания ног сборщика P_T), которое он должен развивать для преодоления указанных препятствий (рис. 2).

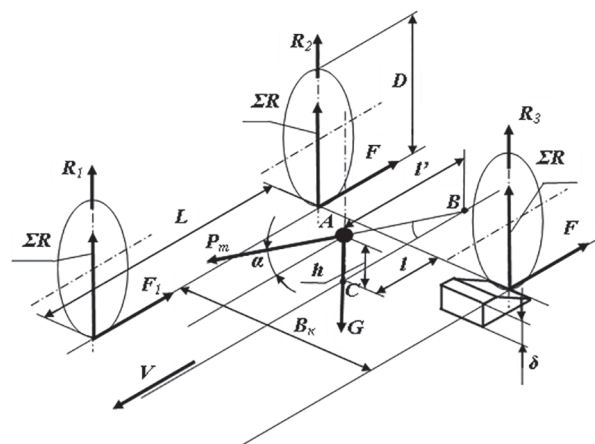


Рис. 2. Схема измерения тягового усилия и сопротивления перекачиванию колес тележки

В качестве основного оборудования была использована изготовленная нами трехколесная тележка для сбора ягод земляники садовой индивидуального использования, с асимметричным расположением переднего (управляемого) колеса. В качестве основы конструкции был использован серийный дорожный велосипед, с колесами диаметром $D = 700$ мм и продольной базой $L = 1170$ мм. При выборе конструкции мы опирались на успешный опыт

канадского фермера У. Хиггинсона [8]. По-средством доработки рамы велосипеда к нему присоединили третье колесо, а также сиденье для сборщика, площадку для наполняемой тары и кассету с запасом порожней тары (на схеме не показаны).

Эксперименту предшествовали измерения, в результате которых были уточнены размерные параметры и определен вес (R_1 , R_2 и R_3), приходящийся на каждое опорное колесо. После измерения и взвешивания на сиденье тележки (точка A на рис. 2) был помещен груз ($G = 704,6$ Н), имитирующий вес сборщика, исходя из средней массы типичной сборщицы (72 кг). Затем была измерена вертикальная реакция на каждом из колес нагруженной тележки (ΣR_1 , ΣR_2 , ΣR_3). Для обеспечения наиболее корректной имитации отталкивания тележки ногами сборщика было учтено, что линия толкания AB (рис. 2) наклонена к горизонту на угол

$$\alpha = \arctg \frac{h}{l'}$$

При принятых параметрах экспериментальной тележки $\alpha = 18^\circ$.

Опыт был спланирован как однофакторный. Под одно из колес тележки (левое по ходу движения) подставляли препятствие в виде деревянного бруска со скошенной на угол $35\text{--}45^\circ$ заходной кромкой. После этого тележку протягивали вперед с помощью динамометра до момента полного преодоления соответствующим колесом препятствия. При этом фиксировалось наибольшее значение силы P_T .

Толщина бруска δ имела четыре уровня варьирования (0; 13; 22 и 45 мм).

Результаты и обсуждение

В результате проведения эксперимента были получены значения тягового усилия P_{Tj} , достаточного, в том числе, и для преодоления одним из колес тележки препятствий различной высоты (δ). Сила сопротивления перекачиванию каждого из колес F_{ij} в j -м варианте опыта определена с учетом угла наклона тягового усилия и величины вертикальной реакции опорной поверхности на каждое колесо по формуле:

$$F_{ij} = \frac{\Sigma R_i \cdot P_{\text{рас.}j}}{\Sigma R_\Sigma},$$

где $P_{\text{рас.}j} = P_{Tj} \cdot \cos \alpha$ – расчетное горизонтальное усилие в j -м варианте опыта, Н; ΣR_i – вертикальная реакция на соответствующее колесо, Н.

ющем колесе нагруженной тележки, Н; ΣR_{Σ} – общий вес нагруженной тележки, Н.

При расчете полагали, что силы сопротивления перекачиванию для двух колес остаются неизменными во всех вариантах опыта. Их величина получена в результате испытания тележки при нулевой высоте препятствия. Обработанные соответствующим образом результаты опыта приведены на рис. 3.

Если вернуться к расчетам, приведенным в обоснование рабочей гипотезы, то при $n = 3$ (когда сила сопротивления перекачиванию одного колеса в три раза больше силы сопротивления перекачиванию второго колеса) тележка без ручной корректировки направления движения становится неуправляемой. Такое соотношение между усилиями на колесах в опыте достигалось уже при наличии под одним из них дополнительного препятствия высотой всего 13 мм. При наличии асимметричного препятствия высотой 45 мм степень дифференциации сил сопротивления перекачиванию правого и левого колес увеличивалась в 8,3 раза.

Таким образом, сформулированная нами теоретическая гипотеза подтверждена экспериментальным путем. Следует отметить, что полученные в результате эксперимента результаты хорошо согласуются с предварительными полевыми испытаниями разработанной нами тележки, которая оборудована рычагом, соединенным одним концом с осью поворота

вилки переднего колеса. Второй конец рычага выведен в зону, удобную для доступа левой руки сборщика, который одновременно с отталкиванием ногами от поверхности междурындя при перемещении тележки может вручную корректировать траекторию ее движения.

Заключение

В результате теоретических расчетов и экспериментальных исследований достоверно установлено, что чем шире колея задних колес тележки, тем труднее обеспечить прямолинейность ее движения в условиях варьирования высоты препятствий и силы сопротивления перекачиванию в разных междурындях в достаточно широких пределах. Так, при наличии на пути одного из задних колес дополнительного препятствия высотой всего 13 мм степень дифференциации величины сил сопротивления перекачиванию правого и левого колеса возрастает в три раза. При такой асимметрии нагрузки отклонение точки опоры ноги на поверхность междурындя от оси последнего не обеспечивает возможности гарантированного выравнивания траектории движения тележки. Следовательно, целесообразно снабжать ее переднее (управляемое) колесо устройством для оперативной ручной корректировки направления движения, поскольку при высоте дополнительного препятствия в 45 мм степень дифференциации величины сил сопротивле-

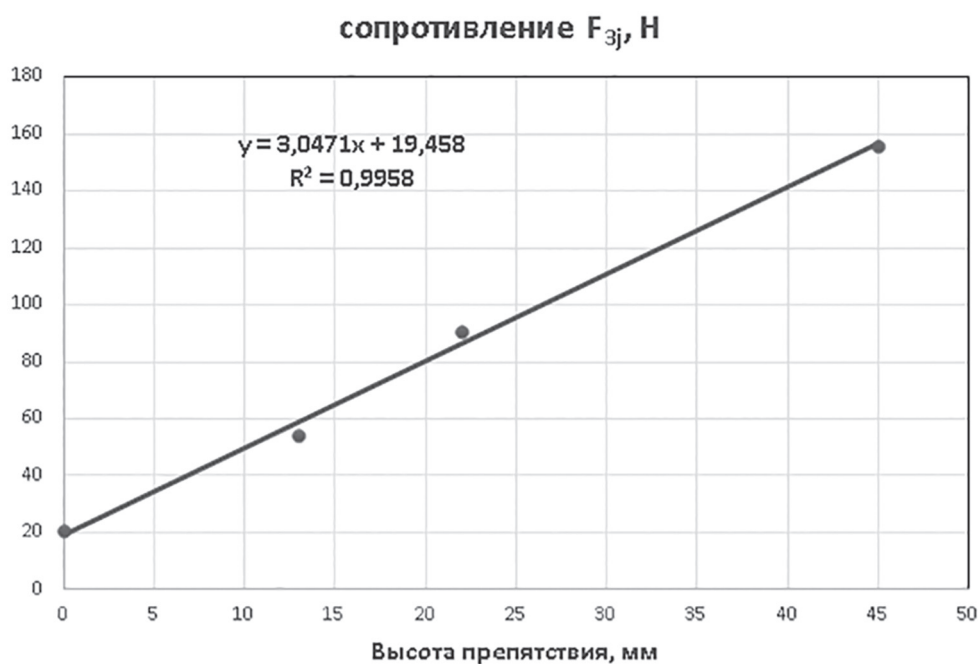


Рис. 3. График изменения силы сопротивления перекачиванию колеса $F_{зj}$ в зависимости от высоты препятствия δ

ния перекачиванию правого и левого задних колес увеличивается в 8,3 раза.

Изготовленная согласно указанной конструктивной концепции тележка, основу которой составляет серийный дорожный велосипед, в условиях Брянской области должна окупиться в течение полутора лет, что свидетельствует о перспективности ориентации отечественных производителей ягод земляники садовой на массовое использование такого простого и доступного средства рационализации ручного труда на плантации товарного типа.

Литература

- 72 % мирового производства ягод в 2017 году пришлось на садовую землянику // Пропозиция – Главный журнал по вопросам агробизнеса. URL: <https://propozitsiya.com/72-myrovogo-proyzvodstva-yagod-v-2017-godu-pryshlos-na-sadovuyu-zemlyanyku> (дата обращения 10.10.2018).
- Базы данных ФАО. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC> (дата обращения 15.10.2018).
- Механизованная уборка ягод земляники. URL: <https://ogorodnadache.ru/mexanizirovannaya-uborka-yagod-zemlyaniki.html> (дата обращения 04.01.2019).
- Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Ягоды: практические рекомендации по выращиванию для себя и на продажу: монография. М.: Колос, 2006. 160 с.
- Ожерельев В.Н., Иващенко А.В. Трансформация представлений о механизации и рационализации сбора ягод земляники садовой // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 2 (66). С. 46–51.
- Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 5. С. 42–47.
- Филиппов Р. А. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2012. 22 с.
- Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. 1994. Vol. 18. Issue 3. P. 35.

References

- Strawberries took 72 % of world berries production in 2017. Propozitsiya – Glavnyj zhurnal po voprosam agrobiznes-sa. URL: <https://propozitsiya.com/72-myrovogo-proyzvodstva-yagod-v-2017-godu-pryshlos-na-sadovuyu-zemlyanyku>. (accessed 10.10.2018).
- Bazy dannyh FAO [Data base of Food and Agriculture Organization]. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC>. (accessed 15,10,2018).
- Mekhanizirovannaya uborka yagod zemlyaniki [Mechanized harvesting of strawberries]. URL: <https://ogorodnadache.ru/mexanizirovannaya-uborka-yagod-zemlyaniki.html>. (accessed 04.01.2019).
- Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. YAgody: prakticheskie rekomendacii po vyrashchivaniyu dlya sebya i na prodazhu [Berries: practical recommendations for growing for yourself and for sale (monograph)]. Moscow: Kolos Publ., 2006. 160 p.
- Ozherel'ev V.N., Ivashchenko A.V. The transformation of ideas about the mechanization and rationalization of harvesting strawberries. Vestnik Bryanskoj GSKHA. 2018. No 2(66), pp. 46–51.
- Filippov R.A., Hort D.O. Technical means in the technology of manual harvesting of strawberries. Tekhnologiya kolesnyh i gusenichnyh mashin. 2014. No 5, pp. 42–47.
- Filippov R.A. Tekhnicheskie sredstva v tekhnologii ruchnoj uborki yagod zemlyaniki: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk [Technical means in the technology of manual harvesting of strawberries: Dissertation for the Degree of Doc-tor of Chemical Sciences], Moscow, 2012. 22 p.
- Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries. FARM SHOW Magazine. 1994. Vol. 18, Issue 3, P. 35.