

УДК 551.48.002.5:626.8

В. И. ВИХРОВ

**АВТОНОМНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ
НЕКОТОРЫХ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ РАЗВИТИЯ
И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ**

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»
г. Горки, Могилевская область, Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 05.01.2017)

Приведены конструкции и принцип работы автономных устройств, позволяющих осуществлять непрерывную регистрацию и запись некоторых агрометеорологических факторов развития и водопотребления растений в условиях полевого опыта. В данной работе рассмотрены те агрометеорологические факторы, для регистрации которых отсутствуют стандартные метеорологические автономные самописцы: температура почвы, скорость ветра, испарение с водной поверхности, водопотребление (суммарное испарение). Для записи температуры верхнего слоя почвы модернизирован максимально-минимальный термометр АМ-17. Прибор переоборудован недельным барабаном и пером самописца. Путем специальной тарировки прибора изготовлены ленты для записи температуры почвы с соответствующей температурной шкалой. Для записи скорости ветра предложена механическая конструкция чашечного анемометра. Прибор смонтирован из отдельных частей метеоприборов с необходимыми дополнениями. Его можно устанавливать на любой высоте вплоть до полога растений. Скорость ветра определяется с использованием тарировочного графика по величине расстояния между соседними штрихами на ленте самописца. С целью непрерывной записи испарения с водной поверхности сконструирована специальная поплавковая система, совмещенная с испаромером ГГИ-3000 и обеспечивающая точность регистрации испарения 0,1 мм. Для изучения суточного хода водопотребления сельскохозяйственных культур разработана конструкция почвенного испарителя с автоматическим устройством взвешивания и записи – эвапотранспирографа. Принцип работы прибора заключается в автоматическом уравновешивании моментов сил, создаваемых почвенным испарителем и специальным грузом, которые расположены на подвижном квадранте. Размеры взвешивающей системы прибора обоснованы с учетом требуемой точности измерения водопотребления, равной 0,1 мм. Предлагаемые устройства отличаются относительной простотой конструкции и изготовления, надежностью в эксплуатации, необходимой точностью измерений, компактностью и повышенной репрезентативностью по микроклиматическим условиям развития растений.

Ключевые слова: агрометеорологические факторы, самописцы, температура почвы, скорость ветра, испарение.

We have presented structures and the principle of operation of autonomous devices that allow for the continuous registration and recording of certain agrometeorological factors of development and water consumption of plants under field experiment conditions. In this paper, we consider those agrometeorological factors for the registration of which there are no standard meteorological autonomous recorders: soil temperature, wind speed, evaporation from the water surface, water consumption (total evaporation). To record the temperature of upper soil layer, we have modernized maximum-minimum thermometer AM-17. The device is re-equipped with a weekly drum and a self-recorder pen. By means of special calibration of the device, tapes were made for recording soil temperature with an appropriate temperature scale. To record the wind speed, a mechanical design of the cup anemograph is proposed. The device is assembled from separate parts of meteorological instruments with necessary additions. It can be installed at any height up to the canopy of plants. The wind speed is determined using the calibration curve based on the distance between neighboring strokes on the recorder tape. For the purpose of continuous recording of evaporation from the water surface, a special float system was constructed, combined with the GGI-3000 evaporator and providing an accuracy of 0.1 mm evaporation detection. To study the daily course of water consumption of agricultural crops, we have developed a design of soil evaporator with an automatic weighing and recording device – an evapotranspirograph. The principle of the device is to automatically balance the moments of forces created by the soil evaporator and special cargo, which are located on the moving quadrant. The dimensions of the weighing system of the device are justified taking into account the required accuracy of measurement of water consumption equal to 0.1 mm. The proposed devices have a relatively simple design and are easy to make, they are reliable in operation, they have the necessary accuracy of measurements, compactness and increased representativeness in microclimatic conditions of plant development.

Key words: agrometeorological factors, self-recorders, soil temperature, wind speed, evaporation.

Введение

Основу научных исследований закономерностей процесса развития сельскохозяйственных культур, динамики их водного, пищевого и других режимов составляют данные полевых наблюдений и измерений. При этом наряду с регистрацией роста самих растений [1] необходима максимально подробная информация о комплексе определяющих его агрометеорологических факторов [2, 3]. Самой полной формой такой информации в данном случае является непрерывная регистрация (запись) суточного хода изучаемых элементов. При этом для обеспечения экспериментальной репрезентативности получаемых величин они должны измеряться в непосредственной близости или на самой территории опытного участка, делянки.

При наличии в настоящее время значительного арсенала современных агрометеорологических приборов и оборудования их применение в массовых полевых агрономических исследованиях зачастую сдерживается высокой стоимостью, сложностью эксплуатации, необходимостью электропитания и другими факторами [4, 5].

В этом отношении из всего комплекса существующих стандартных агрометеорологических приборов-самописцев практически свободны от указанных в данном случае недостатков лишь, такие как термограф (температура воздуха), гигрограф (влажность воздуха), барограф (атмосферное давление). Они достаточно компактны, автономны и просты в эксплуатации [5].

Учитывая вышеизложенные обстоятельства, нами были разработаны относительно простые автономные устройства, позволяющие осуществлять в условиях полевого опыта непрерывную регистрацию и запись таких важных агрометеорологических факторов, как температура почвы, скорость ветра, испарение с водной поверхности и суммарное испарение (водопотребление сельскохозяйственных культур) [6]. Данные устройства были изготовлены с участием автора в условиях вузовской мастерской, использованы в ходе экспериментальных исследований водопотребления орошаемых трав [7, 8, 9] и в последующем совершенствовались [10, 11]. Устройства сконструированы, как правило, с использованием элементов стандартных приборов и являются, по сути, их модернизацией.

Основная часть

Для записи температуры верхнего слоя почвы 0–5 см ($t_n, ^\circ\text{C}$) модернизирован и применен максимально-минимальный термометр АМ-17. В стандартном приборе АМ-17 стрелка на кронштейне его термоманометрической системы прочерчивает дугу диапазона изменения t_n на неподвижном в это время барабане за весь период между соседними сроками наблюдений (рис. 1а). Это не позволяет установить полный суточный ход температуры почвы.

В связи с этим прибор АМ-17 переоборудован нами недельным барабаном и пером самописца. Путем специальной тарировки термоманометрической системы прибора изготовлены ленты для непрерывной записи t_n с соответствующей температурной шкалой [6]. В результате производится полноценная непрерывная запись суточного хода температуры почвы, как показано на рис. 1б. В рабочем положении корпус прибора находится в подземной нише, а термобаллон с соединительным капилляром укладываются в южном направлении в канавку требуемой глубины и засыпаются.

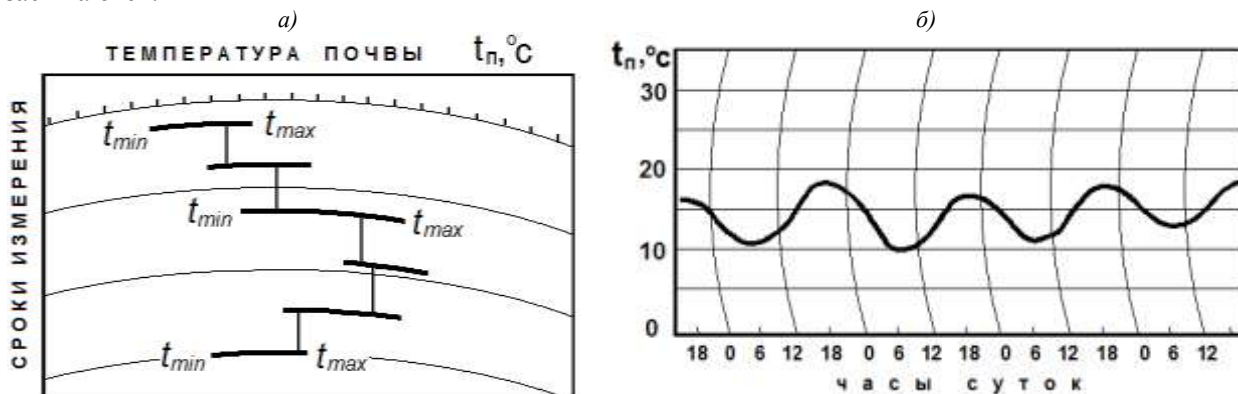


Рис. 1. Примеры регистрации диапазонов температуры почвы по прибору АМ-17 (а) и ее непрерывной записи после модернизации прибора (б)

Для записи скорости ветра предложена механическая конструкция чашечного анемометра. Прибор смонтирован из отдельных частей метеоприборов с необходимыми дополнениями (рис. 2а). Его можно устанавливать на любой высоте вплоть до полога растений. На корпусе термографа 1 с барабаном 2 и стрелкой самописца 3 с противовесом 4 установлена чашечная вертушка 5 анемометра АРИ. Ее вращение передается на кулачковый диск 7 через понижающую систему шестерен 6 частично измененного часового механизма недельного барабана. При вращении вертушки кулачок диска набегает на рычаг 8 и отклоняет его вправо, а стрелка с пером делает в это время вертикальный штрих на ленте барабана. Диск 7 может присоединяться к одной из двух выходных осей 9 либо 10 системы 6, имеющих разную скорость вращения, что позволяет использовать прибор в режимах записи как суточного, так и недельного барабанов. В поле анемометр устанавливается на столбе 11 нужной высоты (в нашем случае 2 м) в цилиндрическом кожухе 12 с круглым козырьком 13, центр которых совпадает с осью вращения вертушки.

а)

б)

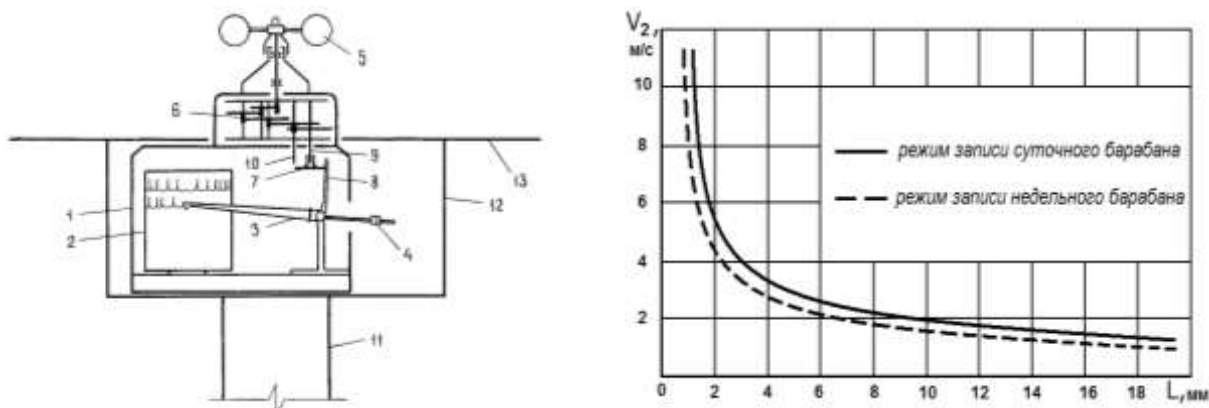


Рис. 2. Схема чашечного анемографа (а) и графики связи скорости ветра на высоте 2 м (V_2 , м/с) с расстоянием между штрихами (L , мм) на ленте самописца (б)

Скорость ветра (V_2 , м/с) определяется по величине расстояния (L , мм) между соседними штрихами на ленте. С этой целью прибор тарировался при помощи двух анемометров МС-13 и строились графики зависимости $V_2 = f(L)$ в суточном и недельном режимах записи (рис. 2б).

Расшифровка ленты самописца с использованием данных графиков показывает среднее значение V_2 за интервал времени, прошедший между записью соседних штрихов. При скорости ветра до 6–8 м/с точность его определения не превышает 0,1 м/с, и с ее увеличением до 10 м/с (на малых высотах в редких случаях) – находится в пределах 0,2–0,5 м/с. С целью дополнительной проверки прибора и последующей связи скоростей ветра на стандартной высоте флюгера V с V_2 анемограф устанавливался на площадке метеостанции Горки для статистической обработки параллельных показаний с данными метеостанции [9].

Стандартная методика измерения испарения с водной поверхности (E_v , мм) предполагает использование испаромера ГГИ-3000 со срочными замерами уровня воды в нем (обычно 2 раза в сутки). С целью непрерывной записи E_v нами сконструирована и применена специальная поплачковая система. Ее схема и пример записи испарения с водной поверхности показаны на рис. 3.

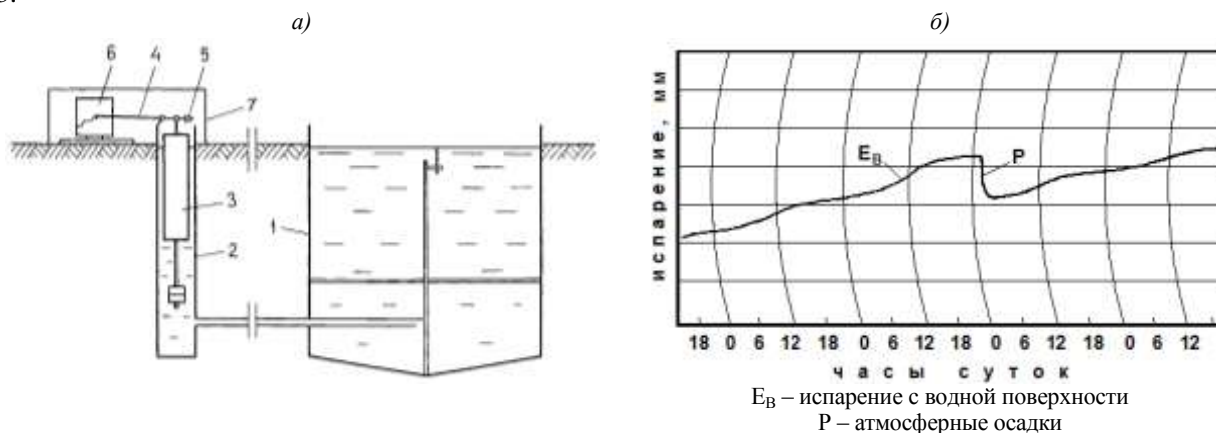


Рис. 3. Схема устройства испаромера ГГИ-3000 для непрерывной записи испарения с водной поверхности (а) и образец интегрального графика записи испарения и осадков на ленте самописца (б):
1 – испаромер ГГИ-3000, 2 – цилиндр, 3 – поплавок, 4 – стрелка для пера самописца, 5 – уравновешивающий противовес, 6 – барабан самописца, 7 – чехол самописца

Во избежание искажения условий испарения устройство записи смонтировано в удалении 1,5 м к северу от бака испаромера по принципу сообщающихся сосудов.

Любое изменение уровня воды в испаромере 1 (испарение или осадки) копируется в цилиндре 2, что перемещает поплавок 3 и через стрелку 4 с противовесом 5 производит запись на барабане 6. Соотношение плеч стрелки 1:5 обеспечивает пятикратное вертикальное перемещение пера на ленте и необходимую точность регистрации E_v в пределах 0,1 мм.

При разработке данной конструкции нами было выполнено обоснование поперечных размеров цилиндра 2 и поплавка 3, исключая искажение измерений с указанной точностью, возникающее за счет отсутствия испарения из цилиндра 2 под кожухом 7 [6].

Для изучения суточного хода водопотребления многолетних трав автором разработана и использована конструкция почвенного испарителя с автоматическим устройством взвешивания и записи (в авторской терминологии – *эвапотранспирограф*) [10]. Общий принцип устройства был предложен ранее В. И. Белясовым [11]. Нами применена более совершенная конструкция прибора за счет размещения рычагов взвешивания ниже дневной поверхности и двукратного увеличения

площади испарителя с 500 до 1000 см². Кроме того, в отличие от [11] нами дано более строгое решение работы взвешивающей системы прибора за счет учета кинематического изменения плеча a (рис. 4а).

Почвенный испаритель 1 находится внутри цилиндра (гнезда) 2 в устойчивом подвешенном состоянии посредством призматических опор 3 и квадранта 4 с уравнивающим грузом 5 и грузами точной настройки 6. Опоры обеспечивают свободное вертикальное перемещение меняющего массу испарителя, которое фиксируется визирным устройством 7 и самописцем 8. Водосборное устройство 9 служит для учета осадков.

Принцип работы прибора заключается в автоматическом уравнивании моментов сил, создаваемых испарителем массой G с плечом a и грузом g с плечом b . При уменьшении G на величину ΔG (испарение) квадрант перемещается на угол α и изменяет (уменьшает) плечи a и b (рис. 1а). При увеличении G на величину ΔG (осадки) квадрант перемещается на угол $-\alpha$ и также изменяет плечи: a – уменьшает, но b – увеличивает. Это происходит за счет низко и жестко расположенного груза g , когда его плечо изменяется в значительно большей степени и уравнивает вновь создаваемые моменты.

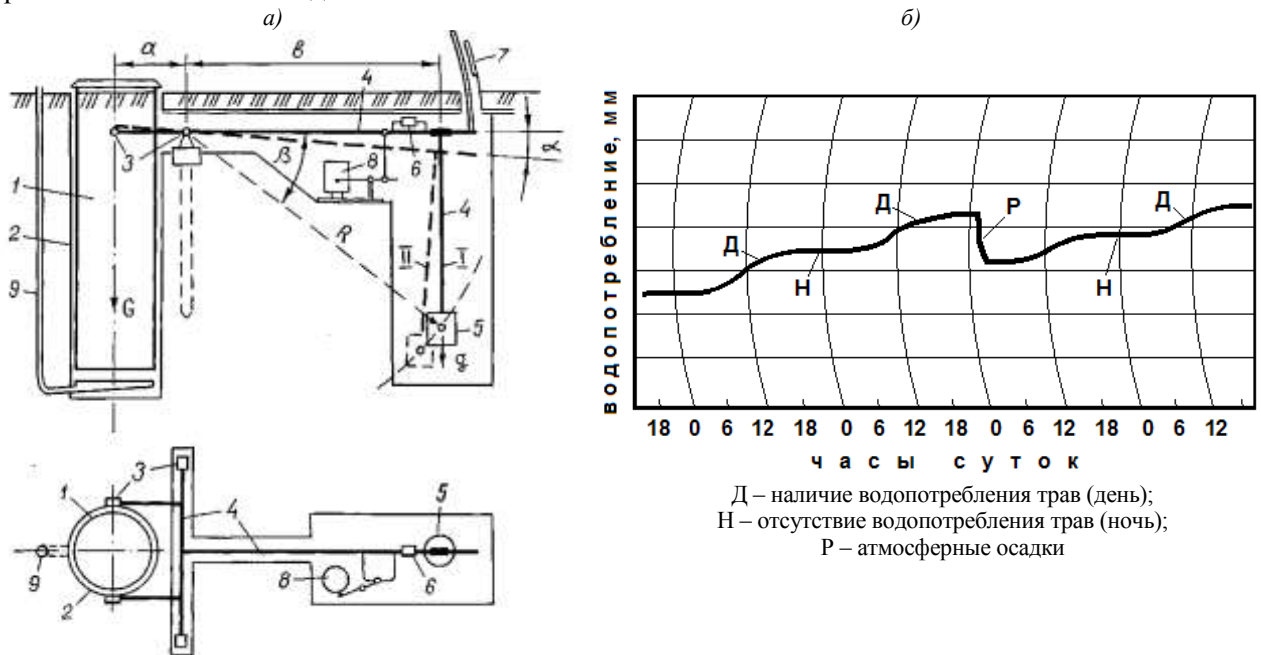


Рис. 4. Конструктивно-расчетная схема почвенного испарителя с автоматическим устройством взвешивания и записи (а) и образец интегрального графика записи водопотребления трав и осадков на ленте самописца (б). I – исходное положение квадранта; II – положение квадранта в результате испарения. Остальные пояснения в тексте

Таким образом, согласно рис. 3а уравнивание моментов записывается в виде:
испарение:

$$(G - \Delta G) a \cos(\alpha) = g R \cos(\beta + \alpha); \quad (1)$$

$$\text{осадки:} \quad (G + \Delta G) a \cos(-\alpha) = g R \cos(\beta - \alpha), \quad (2)$$

где R – радиус перемещения груза g ; β – угол начального положения R к горизонту.

Решая совместно (1) и (2) относительно α и ΔG и, опуская промежуточные выкладки, получим:

$$\pm \alpha = \arctg \frac{\mp \Delta G}{\omega h}; \quad (3)$$

$$\pm \Delta G = \omega h t g(\mp \alpha) = \omega h t g\left(\frac{\pm \Delta l 180}{\pi r}\right), \quad (4)$$

где h – вертикальное расстояние от точки опоры до центра тяжести груза g ; $\omega = g/a = G/b$; Δl – изменение отсчета по визирной линейке устройства 7, перемещающейся по радиусу r .

Разрешающая способность прибора (точность взвешивания) определяется значением ΔG при минимально фиксируемом отрезке Δl . Используя уравнение (4), были подобраны размеры взвешивающей системы, обеспечивающие перемещение $\Delta l = 0,1$ мм при ΔG , которое соответствует 0,1 мм слоя испарения или осадков.

В таблице приведены варианты минимально допустимых параметров эвапотранспирографов с высотой почвенного монолита 1 м и различной площадью испарения F (см²), обеспечивающие указанную точность измерения.

Параметры эвапотранспирографов с высотой почвенных монолитов 1 м (минеральные почвы)

$F, \text{см}^2$	$G, \text{кг}$	$\Delta G, \text{кг}$	$g, \text{кг}$	$a, \text{мм}$	$b, \text{мм}$	$\Delta h, \text{мм}$
500	95 ± 3	0,005	17,20	200	1105	5,00
1000	190 ± 5	0,01	42,99	250	1105	6,25
2000	380 ± 10	0,02	113,48	330	1105	8,25
5000	950 ± 25	0,05	404,07	470	1105	11,75

При данной конструкции прибора необходимо контролировать величину вертикального перемещения испарителя (Δh , мм), которая не должна нарушать условия испарения:

$$\Delta h = a \cdot \sin \alpha. \quad (5)$$

Расчеты, согласно (3), показывают, что при изменении влагозапасов испарителя $\Delta W = \pm 30$ мм (за счет аналогичного слоя осадков или испарения) угол α составляет $1,43^\circ$. Соответствующие этому значения Δh приведены в таблице. Для $\Delta W = \pm 50$ мм значения Δh увеличиваются в 1,65 раза. В отдельных экстремальных случаях при накоплении больших ΔW прибор перенастраивается в исходное положение при помощи грузов точной настройки б.

Для получения значений испарения или осадков по отсчетам визирной линейки 7 производится тарировка прибора стандартными разновесами с построением на миллиметровой бумаге графика зависимости $\Delta G = f(l)$. Немаловажно отметить, что модернизированные устройства ГГИ-3000 и эвапотранспирографа позволяют наряду с записью соответствующего вида испарения параллельно выполнять запись величины и интенсивности атмосферных осадков. Их непрерывная запись на ленте самописца позволяет установить суточный ход элементов водного баланса сельскохозяйственного поля.

Заключение

Практическое использование приведенных выше автономных устройств непрерывной регистрации и записи агрометеорологических факторов развития и водопотребления растений показали их надежную работу и необходимую точность в условиях полевого опыта. Это дает дополнительную возможность исследования и установления целого ряда важных особенностей развития растений в зависимости от факторов внешней среды.

В частности, установлено, что ночью водопотребление (суммарное испарение) отсутствует в результате биологической регуляции сомкнутого травостоя растений. Испарение с водной поверхности E_B испаромера ГГИ-3000 наблюдается в течение всего времени суток. При этом отмечается существенно большее запаздывание в суточном ходе E_B за счет инерционности прогрева воды в приборе [8]. В результате проведенных на основе экспериментальных данных по суточному ходу широкого комплекса агрометеорологических факторов, анализа их кросскорреляционной связи разработаны [12] адаптивные биоклиматические модели суточного водопотребления трав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевелуха, В. С. Периодичность роста сельскохозяйственных растений и пути ее регулирования / В. С. Шевелуха. – Минск: Ураджай, 1977. – 424 с.
2. Остапчик, В. П. Планирование режимов орошения на основе биоклиматического метода расчета водопотребления сельскохозяйственных культур / В. П. Остапчик. Обзорная информация, № 9. – М., ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1981. – 90 с.
3. Саноян, М. Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влагообеспеченностью посевов / М. Г. Саноян. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 296 с.
4. Павлова, М. Д. Практикум по агрометеорологии / М. Д. Павлова. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 168 с.
5. Практикум по агрометеорологии / В. А. Сенникови [и др.]. – М.: Колос, 2006. – 215 с.
6. Вихров, В. И. Усовершенствованные приборы для записи некоторых метеозаписей в связи с изучением водопотребления орошаемых культур / В. И. Вихров // НТИ мелиорация и водное хозяйство. – 1983. – №4. – С. 16–19.
7. Вихров, В. И. Учет скорости ветра и величины урожая в биоклиматическом методе расчета водопотребления орошаемых трав / В. И. Вихров // НТИ мелиорация и водное хозяйство. – 1985. – №7. – С. 16–19.
8. Вихров, В. И. Суточный ход водопотребления орошаемых многолетних трав и его кросскорреляция с метеорологическими факторами / В. И. Вихров // Планирование, строительство и эксплуатация мелиоративных и водохозяйственных систем. Сб. науч. трудов БСХА. Вып. 127. – Горки, 1985. – С. 17–22.
9. Вихров, В. И. Оперативное планирование и прогноз режима орошения многолетних трав на минеральных почвах Белоруссии / В. И. Вихров: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – М.: ВНИИГиМ, 1988. – 24 с.
10. Вихров, В. И. Обоснование параметров почвенного эвапотранспирографа / В. И. Вихров // Актуальные проблемы технической эксплуатации и эффективного использования мелиоративных систем, водохозяйственных объектов и инженерного обустройства сельских территорий. – Горки, 2003. – С. 28–31.
11. Белясов, В. И. Устройство к почвенному испарителю для оперативного определения испарения с сельскохозяйственных угодий / В. И. Белясов // НТИ мелиорация и водное хозяйство. – 1978. – №2. – С. 22–26.
12. Вихров, В. И. Методологические принципы построения адаптивной корреляционной модели суточного водопотребления трав / В. И. Вихров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №2. – С. 110–115.