

Инженеръ Изаковъ.

Къ проекту использованія силы
паденія воды въ р. Вытегрѣ.

XII Съездъ русскихъ дѣятелей по водянымъ путямъ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Паровая Скоропечатня М. М. Гутзаца. Шпалерная, 26.

1910.

Рѣка Вытегра отъ водораздѣла шл. св. Петра до шл. св. Сергія въ г. Вытегрѣ имѣетъ паденіе около 40 саж. На этой рѣкѣ въ настоящее время имѣется 15 дѣйствующихъ для судоходства плотинъ съ общимъ паденіемъ 26 саж. Расходъ воды въ р. Вытегрѣ по произведеннымъ мною наблюденіямъ въ плотинѣ св. Павла въ лѣто 1904 г. и зимою 1905 г. колеблется около 3 куб. мет. въ сек., доходя до 7—8 куб. мет., и лишь на короткія времена плотина лѣтомъ закрывалась; расходъ этотъ подтверждается на лѣсопильномъ заводѣ въ Кандусахъ (плотина св. Георгія) и на картонной фабрикѣ въ Материкахъ (плотина Надежда). Является вопросъ—отчего не использовать живой силы паденія воды въ готовыхъ плотинахъ для такого важнаго дѣла, какъ механическая тяга судовъ на густошлюзованной части р. Вытегры хотя бы отъ шл. св. Андрея до г. Вытегры, а можетъ быть, и попутно для электрическаго освѣщенія въ необходимыхъ мѣстахъ этой части Маріинскаго воднаго пути. На сколько вопросъ этотъ представляется серьезнымъ съ коммерческой стороны, видно изъ того, что за послѣднія 5 лѣтъ черезъ шл. св. Сергія въ г. Вытегрѣ проходило ежегодно судовъ и гонокъ за конной тягой въ слѣдующихъ количествахъ:

ГОДЪ.	Къ С.-Петербургу.				Къ Рыбинску.				Количество		Число пропусковъ.
	Гружен.	Порож.	Гонокъ.	Шалауд.	Подгр.	Порож.	Гонокъ.	Шалауд.	Гружен., подгуж. гонокъ.	Порож. и шалауд.	
1905 .	8352	60	61	—	298	1496	12	—	3899	1556	5455
1906 .	2888	199	57	—	384	1118	77	—	3406	1317	4723
1907 .	2202	38	51	—	357	408	55	—	2665	446	3111
1908 .	2671	57	42	133	393	368	42	142	3148	700	3848
1909 .	3113	64	136	65	282	1094	34	73	3565	1296	4861
									16683	5315	$\frac{21998}{5} = 4400$

Среднее за навигацію число груз, подгруз. и гонокъ = 3,337, а порожнихъ = 1,063. Такъ какъ пропускная способность шлюзовъ равна около 50 судовъ въ сутки, то въ теченіе 5 навигаціонныхъ мѣсяцевъ при безостановочномъ судоходствѣ черезъ систему шлюзовъ могли бы пройти $50 \cdot 30 \cdot 5 = 7,500$ судовъ, что въ $1\frac{1}{2}$ —2 раза больше пропуска за навигацію. Расходъ на конную тягу на указанномъ участкѣ въ теченіе одной навигаціи можетъ быть вычисленъ слѣдующимъ образомъ: въ среднемъ можно положить на каждое груженое, подгруженое судно и гонку по 5 лошадей; на порожнее—4 лош.; въ лѣто 1909 г. цѣны на тягу для одной лошади были: для судовъ отъ 4 руб. 25 к. до 5 р. 55 коп. въ сѣнокосное время, для гонокъ отъ 5 р. 05 коп. до 5 р. 55 коп., не считая расходовъ на харчевья для погонщиковъ, которыя уплачиваются хозяиномъ судна: въ общемъ стоимость за тягу одной лошади на разсматриваемомъ участкѣ составляетъ не меньше 5 руб.; расходъ на тягу за всю навигацію при среднемъ числѣ за навигацію судовъ и гонокъ равенъ $5 \cdot 5 \cdot 3337 + 5 \cdot 4 \cdot 1063 = 104,685$ руб. Расходъ на содержаніе при конной тягѣ въ исправности 27 верстъ бечевника на этомъ участкѣ можетъ быть найденъ изъ слѣдующихъ данныхъ: средній за 14 лѣтъ съ 1896 г. по 1909 г. годовой расходъ на капитальный ремонтъ 27 верстъ бечевника отъ г. Вытегры до пл. св. Андрея равенъ 14,311 руб.; такой же средній годовой расходъ на мелочной ремонтъ тѣхъ же 27 верстъ бечевника равенъ 2,816 руб. Вся стоимость средняго ежегоднаго содержанія 27 в. бечевника въ исправности для конной тяги, не считая расходовъ на ежегодныя весеннія и экстренныя поврежденія, составляетъ 17,127 руб.; такимъ образомъ, абсолютная стоимость конной тяги за навигацію на разсматриваемомъ участкѣ равна 121,812 руб. Время для прохожденія судномъ указанного участка частью зависитъ отъ скорости движенія судна въ бѣфахъ между шлюзами; скорость эта можетъ быть увеличена при механической тягѣ. Говорить о преимуществахъ послѣдней сравнительно съ первобытной конной, какъ въ смыслѣ возможной большей скорости, такъ и въ смыслѣ отсутствія часто возникающихъ недоразумѣній съ коннопромышленниками, не приходится. Много разъ говорили и писали, что промыселъ конной тяги дѣйствуетъ на мѣстныхъ крестьянъ крайне деморализующимъ образомъ: сельское хозяйство у крестьянъ въ плохомъ состояніи, пьянство развито въ сильной степени; грустную картину представляютъ тянущіяся по бечевнику тощія лошади съ крестья-

нами-погонщиками, которымъ приходится отдыхать и ночевать во всякую ненастную погоду тутъ же, на бечевникѣ, грѣясь у костра. Между тѣмъ, рядомъ изъ расположенныхъ по пути слѣдованія судовъ плотинъ живая сила падающей воды пропадаетъ даромъ. Разсчитаемъ силу падающей воды изъ 12 плотинъ, расположенныхъ на участкѣ отъ пл. св. Андрея до г. Вытегры. При упомянутомъ ранѣ расходѣ воды въ р. Вытегрѣ 3 куб. метра въ секунду и использованіи изъ общаго паденія въ 12 плотинахъ = 22,59 саж. = 48,12 метра только 44 метровъ въ предположеніи потери $\frac{1}{3}$ метра при каждой изъ 12 гидроэлектрическихъ установокъ — количество лошадиныхъ силъ, которое можно при этихъ условіяхъ получить посредствомъ турбинъ и динамо-машинъ съ общимъ коэффициентомъ полезнаго дѣйствія 0,75 будетъ: $\frac{1000.344.0,75}{75} = 1,320$. Ограничимся участкомъ пути отъ пл. св. Андрея до г. Вытегры и опредѣлимъ, сколько лошадиныхъ силъ необходимо для механической тяги небольшого количества судовъ, находящихся въ данное время на этомъ участкѣ. Допуская при самомъ интенсивномъ судоходствѣ пропускную способность шлюзовъ равной 50 въ сутки, найдемъ, что потребное для прохожденія судномъ этого участка въ 27 верстъ время при средней скорости движенія судна 3 версты въ часъ и при 26-ти остановкахъ въ 26 шлюзахъ равно $\frac{27}{3} + \frac{26.24}{50} = 21,5$ час.; за это время на участокъ пройдетъ въ направленіи къ С.-Петербургу $\frac{50.21,5}{24} = 45$ судовъ, а въ направленіи обратномъ, допустимъ, 15 судовъ. На участкѣ всего судовъ въ рассматриваемое время около 60. Чтобы знать, какой силы двигатель нуженъ для тяги судовъ, необходимо опредѣлить сопротивленіе судна движенію въ каналѣ и необходимое число лошадиныхъ силъ для преодоленія его работы при скорости движенія судна 4 в. въ часъ = 1,18 мет. въ сек. Если рассматриваемое судно имѣетъ размѣры: дл. — 33 с., ширину — 4,5 саж. и осадку — 10 четв. = 0,833 с., то для скоростей отъ 5 до 3 мет. въ сек. сопротивленіе рѣчного судна можетъ быть выражено формулой $fsv^2 + \alpha Av^n$, гдѣ $f = 0,18 - 0,19$; s — подводная поверхность судна = около 967 \square метр.; $v = 4$ вер. въ часъ = 1,18 мет. въ сек., $\alpha = 18 - 20$ для маринноокъ и 10 для полулодокъ; послѣднее значеніе для рассматриваемаго судна и надо принять, такъ какъ такой длины судно бываетъ полулодочной или баржевой конструкціи;

A —площадь подводной части миделя = 17 кв. метр., $n = 2,2 - 2,3$.
Имѣя еще въ виду формулу Белинграта, по которой сопротивление судовъ въ каналѣ увеличивается въ отношеніи $\left(\frac{m}{m-1}\right)^2$, гдѣ

$m = \frac{Q - \text{площадь живого сѣченія канала}}{A - \text{площадь подвода миделя}} - 1$, получимъ для сопротивленія судна:

$$(0,19.967.1.39 + 101.7.1,44) \frac{16}{9} = 881 \text{ килограмм.}$$

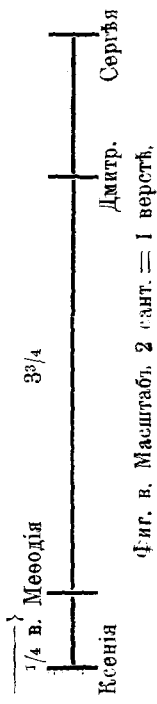
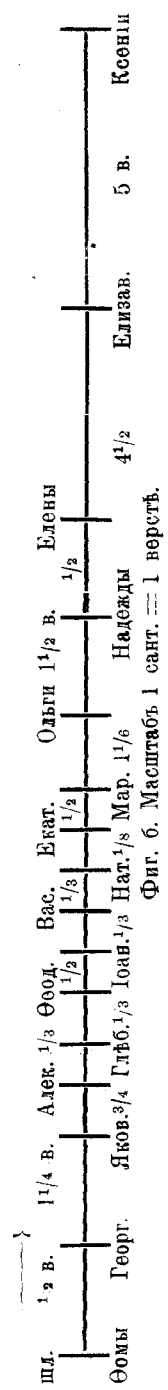
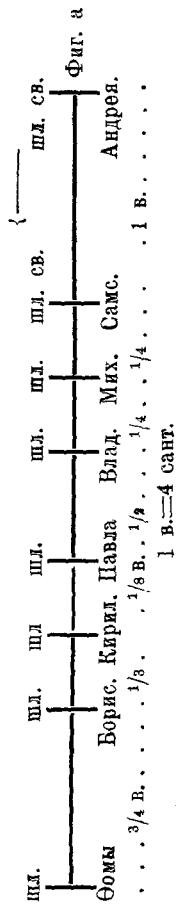
Найденное усиліе тяги подтверждается опытами, произведенными въ 1905 году американскимъ обществомъ „General Electric Co“ надъ тягою барокъ электровозами. Результаты этихъ опытовъ приведены Л. Жераромъ въ журналѣ „Электричество“ за 1906 г. стр. 133. Такимъ образомъ для вышеупомянутаго судна при скорости его движенія 4 вер. въ часъ и, если пренебречь отклоненіемъ бечевы, потребуется лошадиныхъ силъ $\frac{1,18.881}{75} = 13,8$ или круглымъ числомъ 14. Такъ такъ однако въ настоящее время по системѣ ходятъ по большей части суда значительно меньшихъ размѣровъ, то, очевидно, что отъ упомянутаго двигателя потребуется для движенія этихъ судовъ и меньше силъ. Вопросъ объ опредѣленіи необходимаго количества лошадиныхъ силъ для движенія всѣхъ находящихся на участкѣ судовъ связанъ и съ системой тяги, и съ характеромъ пути. Имѣющіеся на протяженіи 27 верстъ участка 26 шлюзовъ, въ каждой камерѣ котораго помѣщается одно судно размѣромъ около 33 саж. \times 4,5 саж., представляютъ большія затрудненія для устройства какой-либо другой тяги, помимо береговой съ небольшими въ 14 лош. силъ двигателями. Что тяга эта имѣетъ цѣнные преимущества, подтверждается и наблюденіями у насъ, и опытами, произведенными въ 1906—1907 г.г. на Тельтовскомъ каналѣ (около Берлина) надъ тягою съ берега электрическими локомотивами Сименса-Шукерта (Soudergabdruck aus Electriche Kraftbetriebe und Bahnen 1908, Heft 32 von Professor Walter Reichel въ Шарлотенбургѣ). Они показали, что при скоростяхъ движенія судна до 7 килом. въ часъ не было замѣтно никакихъ вредныхъ волнъ, такъ что дно и откосы канала мало подвержены разрушенію; одновременно съ этимъ косвенное направленіе бечевы заставляеть держать руль далеко отклоненнымъ для уравновѣшенія силы, прижимающей судно къ берегу, и этимъ судно держится постоянно подъ влияніемъ руля. Что касается устройства пути, по которому должны двигаться электровозы, то необходимо замѣтить, что бечевникъ на всемъ протяженіи 27 верстъ преры-

вается 2 раза, переходя съ одного берега на другой; вслѣдствіе этого приходится, какъ я полагалъ бы, для сокращенія расходовъ, проектировать путь по бечевнику для движенія электрическихъ двигателей не сплошной, а изъ 3-хъ отдѣльныхъ частей: 1) отъ шл. св. Андрея до шл. св. Омы протяженіемъ $3^{5/12}$ версты съ 7 бѣфами—по бечевнику на лѣвомъ берегу р. Вытегры, какъ показано схематически на фиг. (а)

2) отъ шл. св. Омы до шл. Ксеніи въ деревнѣ Шестовѣ—протяженіемъ $18^{5/6}$ версты съ 15 бѣфами—по бечевнику на правомъ берегу р. Вытегры, какъ показано схематически на фиг. (б)

3) Отъ шл. Ксеніи до шл. св. Сергія въ г. Вытегрѣ—протяженіемъ 5 верстъ съ 3 бѣфами—по бечевнику на лѣвомъ берегу рѣки Вытегры, какъ показано схематически на фиг. (в):

Отсюда явствуется, что при одноклейномъ пути въ каждой изъ 3-хъ частей участка должны находится отдѣльные двигатели—электровозы, крейсирующие въ этой части туда и обратно, т. е. мѣняющіеся при встрѣчѣ судами; при двухклейномъ пути электровозъ могъ бы вести судно непрерывно до конца участка и вернуться порожнемъ или съ обратнымъ судномъ по другой колеѣ. Такъ какъ 1-я часть участка имѣетъ протяженіе около $3^{1/2}$ верстъ съ 8 шлюзами, то время для прохожденія этого пути у судна съ двигателемъ, если таковой везъ судно непрерывно при средней скорости 3 версты въ часъ было бы: $\frac{3,5}{3} + \frac{24,8}{50} = 5$ часовъ, изъ которыхъ 1 часъ 10 минутъ двигатель будетъ работать, а 3 часа и 50 минутъ онъ будетъ стоять безъ дѣла во время 8 стоянокъ въ 8 шлюзахъ; въ такихъ же невыгодныхъ условіяхъ пришлось бы работать и остальнымъ двигателямъ—электровозамъ, которые поведутъ непрерывно слѣдующія суда до конца 1-й части участка. Такое невыгодное условіе работы двигателей вызываетъ еще необходимость устройства второй колеи, увеличиваетъ количество двигателей и вмѣстѣ съ нимъ увеличиваетъ расходъ на содержаніе личнаго состава. Въ виду изложеннаго и съ цѣлью возможнаго сокращенія расходовъ по устройству и эксплуатаціи механической тяги я полагалъ бы на всѣхъ частяхъ участка устроить одноклейный путь и каждую изъ 3-хъ частей участка раздѣлить на нѣсколько раіоновъ, на каждомъ изъ которыхъ постоянно обслуживалъ бы одинъ и тотъ же дви-



гатель. Количество таких районовъ въ каждой части для наибольшаго успѣха движенія судовъ можетъ быть опредѣлено практически. Для приблизительнаго разсчета я полагаю бы возможнымъ 1-ую часть участка отъ шл. св. Андрея до шл. св. Омы раздѣлить на 4—5 районовъ съ такимъ же количествомъ двигателей; каждый долженъ обслуживать свой районъ, т. е. провезти судно до конца района, забрать здѣсь для обратнаго пути попутное судно, или порожнемъ вернуться съ увеличенною скоростью 12—15 в. въ часъ.

Во 2-й части разсматриваемаго участка понадобится около 15—16 районовъ съ такимъ же количествомъ двигателей.

Въ 3-й части районовъ 3—4 и столько же двигателей. Отсюда вытекаетъ, что для движенія всѣхъ имѣющихся на участкѣ отъ шл. св. Андрея до г. Вытегры судовъ понадобится всего двигателей—электровозовъ $5 + 16 + 4 = 25$. Если взять для запаса 30 штукъ силою каждый 14 лощ., то для одновременной ихъ работы при полной нагрузкѣ потребуется лошад. силъ— $14 \cdot 30 = 420$. Что касается имѣющихся въ настоящее время электрическихъ двигателей для тяги судовъ, то таковыя въ европейской системѣ тяги двигаются по двухрельсному пути на бечевникѣ и снабжены всѣми необходимыми принадлежностями, какъ и обыкновенныя желѣзнодорожныя. Такіе локомотивы системы Сименса-Шукерта введены строительнымъ управленіемъ на Тельтовскомъ каналѣ, и тяга на немъ уже началась съ 1907 г. (та же брошюра проф. Вальтера Рейхеля); коэффициентъ полезнаго дѣйствія установленъ у нихъ 0,76. Что касается персонала для управленія локомотивами, состоящаго большею частью изъ необразованныхъ людей, и того, достаточно ли одного человѣка для управленія машиной, то въ устройствѣ на Тельтовскомъ каналѣ приходится отвѣтить утвердительно. Директоромъ Сѣвернаго Электрическаго Общества Чапацемъ введенъ для системъ каналовъ Douai и Auby, Sensé, Scarpe и Deul симметричный для движенія въ обѣ стороны локомотивъ, обѣ оси котораго приводятся въ движеніе электромоторомъ съ постояннымъ токомъ силою 20 лощ. силъ при 550 вольтахъ; локомотивы двигаются на 2-хъ равныхъ рельсахъ вѣсомъ 1 пог. метръ 20 килограмм.; они могутъ тащить отъ 2 до 3 судовъ водоизмѣненія 300 тон. со скоростью 3 килом. въ часъ; коэффициентъ полезнаго дѣйствія ихъ установленъ 0,67. Обращаясь къ типу электровозовъ американской системы, приспособленныхъ для условій, подходящихъ къ нашимъ русскимъ, необходимо замѣ-

тять, что, благодаря имѣющемуся у нихъ приспособленію для пропорціональнаго сцѣпленія электровоза съ рельсомъ, двигатель электровозъ имѣетъ небольшой вѣсъ, большую силу сцѣпленія и коэффициентъ полезнаго дѣйствія при скорости 7,2 килом. въ часъ равенъ 0,86; при меньшихъ же скоростяхъ сила тяги возрастаетъ и коэффициентъ этотъ понижается до 0,75; результаты опытовъ надъ тягою барокъ этими электровозами, произведенные Обществомъ „General Electric Co“ въ августѣ 1905 года, приведены въ журналѣ „Электричество“ за 1906 г. стр. 133 въ ст. Л. Жерара; вслѣдствіе этихъ качествъ двигателя американской системы значительно легче 2,92 тонны сравнительно съ европейскими локомотивами 12—18 тоннъ, дешевле ихъ и отличаются простотой. Если остановиться на американской электрической системѣ тяги съ электровозами „General Electric Co“ и принять коэффициентъ полезнаго дѣйствія для двигателей 0,75, то найденное раньше число лош. силъ, необходимыхъ для работы электровозовъ, 420 должно быть получено изъ проводовъ въ количествѣ $\frac{420,4}{3} = 560$ лош. с, полагая потерю при электрической передачѣ на разстояніи 6—12 верстъ въ 10%, необходимое число силъ въ генераторахъ равно $\frac{560,10}{9} = 622$ лош.

Отсюда видно, что для одной тяги судовъ при условіи наибольшей нагрузки электровозовъ достаточно использовать не весь напоръ 44 мет., а лишь 0,43 его. Однако для скорости движенія судоходства, особенно въ темное осеннее время не малое значеніе имѣетъ надлежащее освѣщеніе упомянутаго участка, на которомъ находятся 26 шлюзовъ. Что освѣщеніе признается необходимымъ, видно изъ того, что Министерство П. С. само идетъ навстрѣчу этой потребности—въ послѣднія навигаціи производились опыты освѣщенія въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Маринскаго В. П. керосино-калильными лампами. При общемъ оборудованіи передачи электрической энергіи для тяги судовъ устройство электрическаго освѣщенія на томъ же участкѣ обойдется значительно дешевле. Принимая во вниманіе, что движеніе судовъ ночью ослабѣваетъ, какъ разъ тогда, когда является требованіе на освѣщеніе, расходъ энергіи на послѣднее можетъ значительную часть получиться изъ общаго ея расхода на тягу судовъ. Если остановиться на такомъ размѣщеніи электрическихъ дуговыхъ фонарей въ 100 карселей, что предъ каждымъ входомъ въ шлюзъ будетъ по одному фонарю, и на остальномъ протяженіи по 10 фонарей на 1 версту, то

общій расходъ энергіи на освѣщеніе, независимо отъ такового на тягу судовъ, выразится: $5,4 \text{ уаттъ} \times 100 \times 10,27 = 145$ килоуатта или $= 218$ лош. силы. Остановимся на использованіи изъ имѣющихся на участкѣ 12 плотинъ только около 800 силъ, тогда достаточно лишь при 5 плотинахъ съ небольшими напорами построить 5 гидроэлектрическихъ станцій: 1) плотина св. Самсонія имѣеть напоръ 2,2 саж.; 2) плотина св. Павла—4,6 саж.; 3) напоръ плот. св. Якова—2 саж.; 4) плот. Натадіи—1,75 с.; 5) плот. Надежды—2,7 с.; весь напоръ $= 13,25 \text{ с.} = 28,22 \text{ мет.}$; исключивъ 1,66 мет. На потери напоровъ при 5 установкахъ, получимъ полезный напоръ 26,56 мет. и количество лош. силъ соответственно $= \frac{1000 \cdot 3,26, 56, 0,75}{75} = 797$; если

этихъ силъ окажется мало, то можно использовать еще одну плотину—Ксеніи съ напоромъ 1,5 саж. Вопросъ о выгодности предлагаемаго устройства можетъ быть выясненъ изъ разчета стоимости предпріятія и расходоу по эксплуатаціи; точный разсчетъ стоимости можетъ быть полученъ по разработкѣ полного проекта передачи энергіи для вышеуказанныхъ цѣлей. Изъ предварительныхъ же переговоровъ съ фирмоу „Вестингаузъ“ вышеуказанное оборудованіе передачи энергіи для тяги судовъ и электрич. освѣщенія не должно превышать 1.000.000 руб.

Эксплуатационные расходы представляются въ слѣдующемъ размѣрѣ:

1) При 5 генератор. станціяхъ по 1 машинисту—60 р. въ мѣсяць, по 1 помощнику машин.—35 р. въ мѣсяць на 12 мѣяцевъ всего.	5700 руб.
2) При 30 электровозахъ 30 машинистовъ-вожатыхъ по 35 р. на 6 мѣяцевъ	6300 „
3) Для надзора за исправностью пути, проводовъ. фонарей—6 слесарей по 35 р. въ мѣсяць на 6 мѣяцевъ	1260 „
4) Расходъ на угли для фонарей.	3000 „
5) Жалованье завѣдывающему	3000 „
6) Проценты и погашеніе капитала въ 1.000.000 10%	100000 „
7) Ежегодный ремонтъ 1%	10000 „
Итого	<u>129260 руб.</u>

I) Параллельно въ настоящее время расходы на тягу	104685 руб.
II) Содержаніе въ исправности бечевника	17127 „
III) Расходъ на керосинъ для освѣщенія шлюзовъ (26)	1008 „
Итого	<u>122810 руб.</u>

Такимъ образомъ, если расходы по эксплуатаціи новой электрической тяги и обойдутся немного дороже при настоящемъ размѣрѣ судоходства, то выгоды, которыя представляются отъ механической тяги и попутнаго электрическаго освѣщенія, могутъ быть легко оцѣнены. Если современемъ судоходство увеличится, а таковое возможно въ $1\frac{1}{2}$ — $1\frac{3}{4}$ раза, то расходы по эксплуатаціи все же не измѣнятся. Черезъ 20 лѣтъ предпріятіе будетъ оплачено и поступитъ цѣннымъ имуществомъ, а расходы по эксплуатаціи уменьшатся на 50.000 руб.

Тяга судовъ на Маринской системѣ производится въ настоящее время мѣстами за буксирными пароходами, мѣстами за лошадьми; въ послѣдніе годы на каналахъ Бѣлозерскомъ, Онежскомъ и Приладожскихъ замѣтно сильное стремленіе къ замѣнѣ конной тяги паровой буксирной; такая замѣна на открытыхъ каналахъ и рѣкахъ не встрѣчаетъ со стороны гидротехническихъ сооружений воднаго пути препятствій, и, вѣроятно, въ скоромъ времени конная тяга на этихъ каналахъ будетъ окончательно вытѣснена. Другое дѣло на шлюзованныхъ рѣкахъ, какъ на р. Вытегрѣ, на которой отъ шлюза св. Петра—начала водораздѣла Мар. Вод. П.—до г. Вытегры протяженіемъ около 45 верстъ находятся 29 шлюзовъ, каждая камера которыхъ вмѣщаетъ только одно судно размѣровъ около 33 с. \times 4,5 с.; при этихъ условіяхъ замѣна на р. Вытегрѣ конной тяги буксирными пароходами не представляется возможной, и является необходимостью—устроить особую береговую тягу съ двигателями для тяги лишь одного судна. О данныхъ, имѣющихся въ условіяхъ теченія р. Вытегры и могущихъ быть использованными при устройствѣ механической тяги я имѣю честь представить вниманію уважаемаго собранія.