

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА МАШИН В МЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Евграфов Владимир Алексеевич,

Д.т.н., профессор, Московский государственный университет природообустройства

Новиченко Антон Игоревич,

К.т.н., доцент, Московский государственный университет природообустройства

Подхватилин Иван Михайлович,

Соискатель, Московский государственный университет природообустройства

Горностаев Владислав Игоревич,

Студент, Московский государственный университет природообустройства

Шкиленко Алексей Владимирович,

Ведущий специалист Управления по мелиорации земель,
водному хозяйству и безопасности гидротехнических сооружений

ФГБНУ «Управление «Спецмелиоводхоз»

antonypirs@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос формирования оптимального состава технологического комплекса машин, базирующийся на методах имитационного моделирования производственного процесса, проведена сравнительная оценка экономических показателей работы комплекса на примере строительства оросительной сети сельхозугодий поймы реки Яхромы.

Ключевые слова: технологический комплекс машин, имитационное моделирование, мелиоративное строительство, закрытая оросительная сеть.

FORMATION OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF MACHINES IN MELIORATIVE CONSTRUCTION BY MEANS OF IMITATING MODELLING

V. Evgrafov, A. Novichenko, I. Podhvatilin, A. Shkilenko, V. Gornostaev

The Moscow state university of environmental engineering

Summary. In work the question of formation of optimum structure of a technological complex of the machines, based on methods of imitating modelling of production is considered, the estimation of economic parameters of work of a complex on an example of construction of an irrigating network of farmland floodplain the rivers of Yakhroma is lead сравнительная.

Keywords: Technological complex of machines, imitating modelling, the meliorative construction, the closed irrigating network.

Основной задачей агропромышленного комплекса является надежное обеспечение страны продовольствием и сельскохозяйственным сырьем, что во многом зависит от биопродуктивности и влагообеспеченности сельхозугодий. Решение этой задачи может быть достигнуто за счет применения комплексной системы земледелия, которая базируется на взаимосвязанных агротехни-

ческих, мелиоративных и организационных мероприятиях, направленных на эффективное использование природных ресурсов, повышение плодородия почв, а также формирование бережного отношения к земле в рамках концепции природообустройства.

Применение имитационного моделирования технологических процессов позволяет рационально использовать производственный потенциал пред-

приятия, точнее прогнозировать объем и сроки выполняемых работ, повысить эффективность механизированных работ в природообустройстве.

При строительстве закрытой оросительной сети сельхозугодий поймы реки Яхромы с применением магистрального трубопровода из ПНД (полиэтилена низкого давления) диаметром 315 мм рекомендуется с учетом природно-климатических условий разрабатывать траншею с коэффициентом заложения откосов 0,75. В зависимости от рельефа пойменных земель глубина траншеи на отдельных участках может колебаться от 1,6 до 2,3 метра.

Согласно требованиям нормативной документации дно траншеи укрывают песчаной подушкой высотой до 0,2 м с последующим выравниванием и уплотнением. После укладки трубопровода осуществляется подсыпка пазух, образуемых между трубой и стенками траншеи на высоту, позволяющую укрыть трубу на 0,1 м. Затем осуществляется засыпка остальной части траншеи с помощью бульдозерной техники, после чего производится планировка и рекультивация участка. Параллельно процессу землеройных работ осуществляется сварка трубных плетей с помощью специализированной сварочной установки, затем производится их опрессовка сжатым воздухом. Сваренная плеть стыкуется с уже уложенной в траншею, для чего

предварительно оставляют на бровке траншеи конец плети, длина которого позволяет беспрепятственно выполнить соединение.

В целом, технологический процесс строительства закрытой оросительной сети с применением труб ПНД характеризуется высокой трудоемкостью и многообразием технологических операций. Процессы такого рода относятся к сложным объектам управления, которые характеризуются большим числом изменяющихся во времени параметров и действием большого количества факторов.

Существующие разногласия в методических рекомендациях по формированию технологических комплексов для строительства магистральных трубопроводов закрытых оросительных сетей с применением труб ПНД вынуждает подрядчиков выполнять работы на свое усмотрение, что зачастую приводит к снижению качества и повышению конечной стоимости сооружения. Формирование эффективных технологических комплексов машин для выполнения таких работ требует глубокой научной проработки в вопросах согласования технических параметров машин и их эксплуатационной производительности.

В качестве объектов исследования были выбраны землеройные машины различных фирм-производителей, которые нашли широкое применение в мелиоративном строительстве (таблица 1).

Таблица 1

Краткая техническая характеристика объектов исследования

№	Модель	Мощность, кВт	Объем рабочего органа, м ³	Масса, т	Стоимость, тыс. руб.
Экскаваторы на гусеничном ходу					
1	Caterpillar 322C	129	1,0	22,80	6400
	Komatsu PC220-8	143	1,0	19,70	5800
	ТВЭКС ЕТ-25	131	1,0	23,50	4830
Бульдозеры					
2	Caterpillar D6N XL	127	5,6	18,20	8700
	Komatsu D65E-12	132	5,4	19,80	9800
	ЧТЗ Б10М	132	5,7	18,80	3600
Экскаваторы-погрузчики					
3	Caterpillar 428D	62	0,8	7,10	3600
	Komatsu WB97S 5	67	0,8	8,10	3600
	МТЗ ЭО-2626.01	65	0,8	7,90	1700

В процессе наблюдения за объектами исследования фиксировались хронометражные данные по рабочим циклам машин, агрегатированных соответствующими рабочими органами. Параллельно фиксировались эксплуатационные затраты, наработка на отказ, время на восстановление работоспособности, определялся коэффициент готовности машин.

Для описания работы технологического комплекса и его оптимизации было принято решение об использовании методов имитационного моделирования. Структура модели состоит из нескольких взаимосвязанных блоков, которые описывают поведение машин при выполнении технологических операций. Блоки модели описывают следующие технологические операции:

- 1 – снятие растительного слоя почвы;
- 2 – разработка траншеи;
- 3 – подсыпка песчаной подушки;
- 4 – выравнивание и уплотнение песчаной подушки;
- 5 – сварка трубных плетей и опрессовка;
- 6 – стыковка плетей и укладка в траншею;
- 7 – обратная подсыпка пазух траншеи;
- 8 – обратная засыпка траншеи и рекультивация.

В целом, программирование блоков модели сводится к математическому описанию рабочих циклов машин с привязкой к системному времени моделируемого процесса с учетом параметров сооружения.

В качестве ведущей машины комплекса был принят экскаватор на гусеничном ходу, с помощью которого производится разработка траншеи. Вспомогательные машины работают на разных операциях и вынуждены периодически переходить с одного участка на другой: бульдозер участвует в операциях 1 и 8, экскаваторы-погрузчики – в операциях 3, 6, 7.

Следующим этапом являлась настройка имитационной модели, которая включает в себя несколько последовательных шагов (рисунок 1).

Проверка адекватности результатов имитационного моделирования данным статистических наблюдений выполнялась методом оценки дисперсий отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы.

В общем виде моделируемый технологический процесс характеризуется как

$$y=A \cdot x, \quad (1)$$

где x, y – вход и выход механизированного производственного процесса;

A – оператор преобразования «вход-выход».

Модель считается адекватной реальному производственному процессу, если

$$y_{\phi} \in [y_m - t_{\alpha} \cdot \sigma_y; y_m + t_{\alpha} \cdot \sigma_y], \text{ при } x_M = x_{\phi}, \quad (2)$$

где y_{ϕ}, y_M – отклик фактической системы и моделируемой соответственно;

x_{ϕ}, x_M – входные условия фактической системы и моделируемой соответственно;

t_{α} – критерий Стьюдента ($t_{\alpha}=2$ при надежности $\alpha=0,95$);

σ_y – среднеквадратичное отклонение значений моделируемых показателей.

Таким образом, если фактические результаты (y_{ϕ}) статистических наблюдений принадлежат доверительному интервалу согласно формуле (2), то модель дает результаты, адекватные натурным экспериментам.

На следующем этапе проводилась оценка точности моделирования:

$$\varepsilon = \frac{t_{\alpha} \cdot \sigma_y}{\sqrt{N} \cdot y}, \quad (3)$$

где ε – относительная ошибка моделирования, %;



Рис. 1. Схема процесса настройки имитационной модели

N – количество проведенных экспериментов, ед.

Для обеспечения точности моделирования технологических процессов необходимо учитывать показатели надежности машин, которые были получены по результатам наблюдений за объектами исследования. Надежность машин учитывалась комплексным показателем – коэффициентом готовности, который монотонно снижался в зависимости от наработки машин.

Относительная ошибка результатов имитационного моделирования не превысила 9%, что позволяет использовать полученные экспериментальные данные в процессе дальнейших исследований.

Результаты имитационного моделирования технологического процесса строительства закрытой оросительной сети с применением различных вариантов состава комплекса сведены на рисунке 2.

Эффективность эксплуатации технологического комплекса машин характеризуется величиной приведенных затрат на единицу выполненных работ.

При известных приведенных затратах на эксплуатацию машин комплекса, учитывая при этом приведенные издержки, связанные с устранением отказов машин, определим приведенные затраты на погонный метр сооружения:

$$Z_{II} = \frac{C_{Э} + C_{Р}}{W_{Э}} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Таблица 2

Показатели надежности объектов исследования (за 1000 мото-ч)

№	Состав комплекса	Среднее время восстановления, ч	Параметр потока отказов, ед/ч*10 ³	Коэффициент готовности	Затраты на ТО и ТР, тыс. руб.	Затраты на устранение неисправностей, тыс. руб.
Комплекс 1						
1	Caterpillar 322C	24	1,50	0,976	75,00	15,90
	Caterpillar 428D	53	2,25	0,947	50,60	8,70
	Caterpillar D6N XL	40	1,53	0,960	78,40	12,66
Комплекс 2						
2	Komatsu PC220-8	36	1,59	0,964	87,90	18,81
	Komatsu WB97S 5	45	1,86	0,955	49,60	16,80
	Komatsu D65E-12	42	1,53	0,958	76,38	16,95
Комплекс 3						
3	ТВЭКС ЕТ-25	74	4,77	0,926	98,52	32,85
	МТЗ ЭО-2626.01	98	4,80	0,902	46,60	25,20
	ЧТЗ Б10М	78	4,23	0,922	70,36	15,87
Комплекс 4						
4	Caterpillar 322C	24	1,50	0,976	75,00	15,90
	МТЗ ЭО-2626.01	98	4,80	0,902	46,60	25,20
	ЧТЗ Б10М	78	4,23	0,922	70,36	15,87
Комплекс 5						
5	Komatsu PC220-8	36	1,59	0,964	87,90	18,81
	МТЗ ЭО-2626.01	98	4,80	0,902	46,60	25,20
	ЧТЗ Б10М	78	4,23	0,922	70,36	15,87

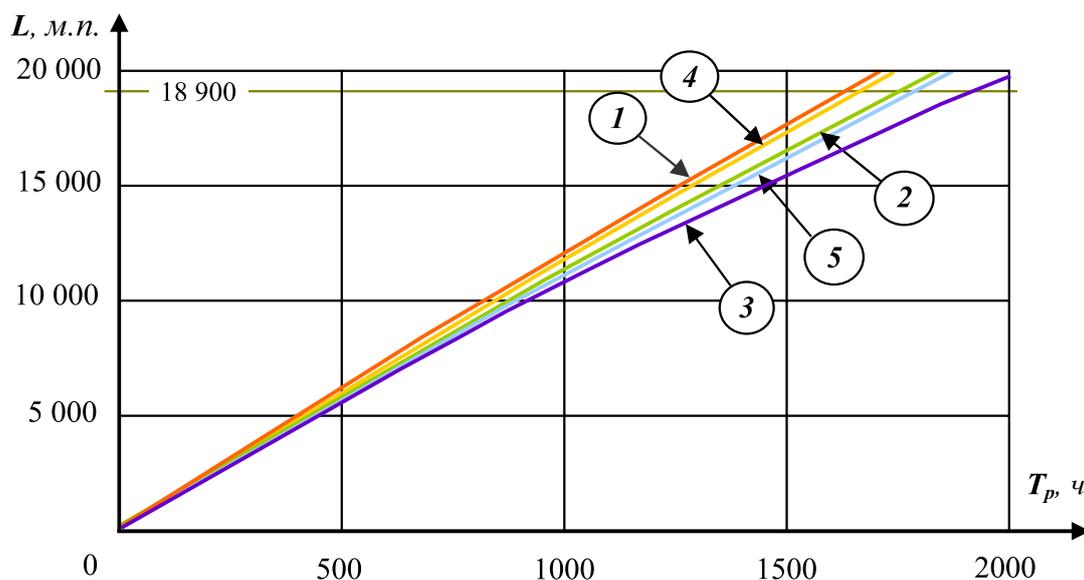


Рис. 2. Сравнительный анализ результатов компьютерных экспериментов (условные обозначения соответствуют таблице 2)

Таблица 3

Статистическая зависимость продолжительности работы технологического комплекса T_p от суммарной длины трубопровода L

№ комплекса (см. таблицу 2)	Параметры аппроксимации	
	Вид уравнения	Достоверность, R^2
1	$T_p = 0,0855 \cdot L + 13,927$	0,9999
2	$T_p = 0,0861 \cdot L + 16,113$	0,9999
3	$T_p = 0,101 \cdot L - 24,247$	0,998
4	$T_p = 0,09 \cdot L + 1,348$	0,9994
5	$T_p = 0,0904 \cdot L + 2,2935$	0,9994

где Z_{II} – приведенные затраты на погонный метр закрытой оросительной сети, руб./м.п.;

C_3 – приведенные затраты на эксплуатацию машин комплекса, руб./ч.;

C_p – приведенные издержки, связанные с восстановлением работоспособности машин, руб./ч.;

W_3 – среднечасовая эксплуатационная производительность комплекса, м.п./ч.

Приведенные затраты на эксплуатацию машин комплекса определяются как

$$C_3 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (5)$$

где C_1 – амортизационные отчисления на машины, руб./ч.;

C_2 – амортизационные отчисления на средства малой механизации, руб./ч.;

C_3 – затраты на топливо и эксплуатационные материалы, руб./ч.;

C_4 – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб./ч.;

C_5 – заработная плата машинистам, руб./ч.;

C_6 – заработная плата вспомогательным рабочим и ИТР, руб./ч.;

C_7 – накладные расходы и прочие эксплуатационные затраты, руб./ч.

Приведенные издержки, связанные с восстановлением работоспособности машин определяются как

$$C_p = (C_{зп} + C_{рр} + Y_{пр}) / T_{пр}, \quad (6)$$

где $C_{зп}$ – средняя стоимость запасных частей машин комплекса, руб.;

$C_{рр}$ – средняя стоимость ремонтных работ машин комплекса, руб.;

$Y_{пр}$ – ущерб от простоя технологического комплекса, руб.;

$T_{пр}$ – среднее время восстановления работоспособности, ч.

В соответствии с планом развития сельхозугодий поймы реки Яхромы на ближайшие годы наме-

чены значительные объемы работ по комплексному обустройству земель – планируется ввести в оборот до 600 га мелиорируемых земель, что потребует реконструкции изношенных и строительства новых мелиоративных систем, в том числе закрытых оросительных сетей суммарной протяженностью – 18900 м.

В связи с этим были определены экономические показатели работы технологических комплексов машин из расчета заданных объемов (таблица 4).

В свою очередь согласно формуле (4) суммарные приведенные затраты на погонный метр сооружения характеризуются затратами на эксплуатацию машин комплекса и издержками от простоя комплекса по причине технических отказов его машин (рисунки 3 и 4).

Таблица 4

Экономические показатели работы технологических комплексов
(из расчета суммарной длины трубопровода $L=18\ 900$ м)

№ комплекса (см. таблицу 7)	Стоимость машин комплекса, тыс. руб.	Среднее время выполнения заданного объема работ, ч	Приведенные затраты на погонный метр оросительной сети, руб./м.п.
1	22300	1605	756,81
2	22800	1678	801,89
3	11830	1889	864,94
4	16200	1670	750,35
5	17100	1730	787,93

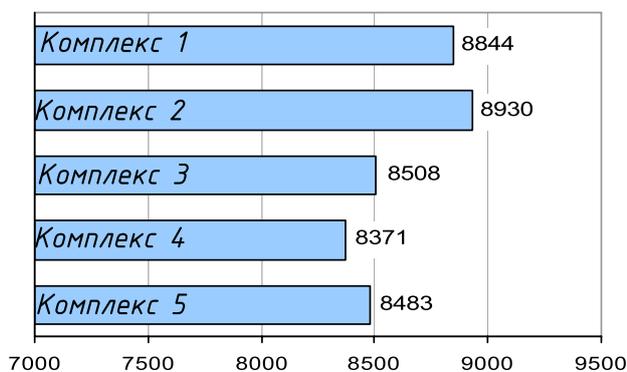


Рис. 3. Приведенные затраты на эксплуатацию машин комплекса, руб./ч

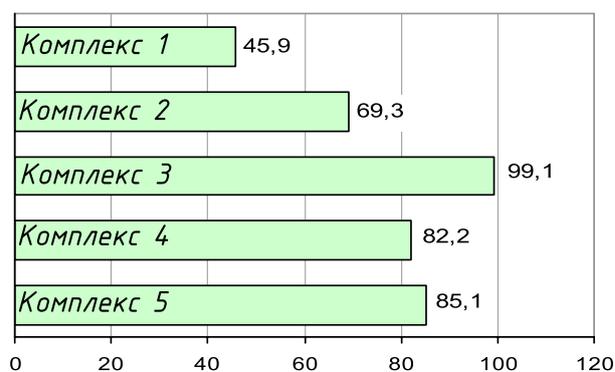


Рис. 4. Приведенные издержки на восстановление работоспособности машин, руб./м.п.

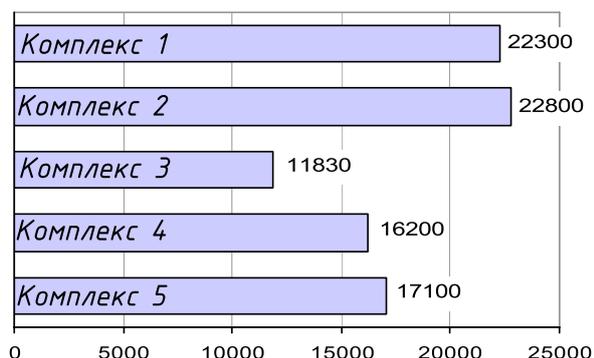


Рис. 5. Стоимость технологического комплекса машин, тыс.руб.

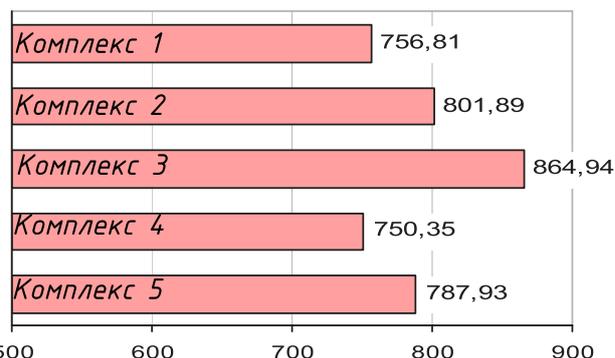


Рис. 6. Приведенные затраты на погонный метр оросительной сети, руб./м.п.

Анализ приведенных затрат на эксплуатацию сравниваемых технологических комплексов также демонстрирует преимущество комплекса №4.

Анализ стоимости машин комплексов с учетом стоимости средств малой механизации (рисунок 5) демонстрирует лидирующую позицию комплекса №3, однако это преимущество теряется из-за низкой производительности комплекса, что в результате удорожает выполненные работы (рисунок 6).

В проведенных исследованиях наилучшим

результатом признан вариант состава комплекса №4. Данный комплекс характеризуется наименьшими приведенными затратами на погонный метр сооруженного трубопровода оросительной сети – 750,3 рублей, и сравнительно низкую стоимость машин комплекса. Учитывая специфику выполняемых работ и их сезонность, можно сделать вывод о целесообразности приобретения этих машин для выполнения работ по сооружению оросительной сети на пойме реки Яхромы.

Список литературы

1. Рудаков И.В. Лекции по методам моделирования. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
2. Баронов В.В., Калянов Г.Н. и др. Информационные технологии и управление предприятием. – М.: Компания АйТи, 2009.